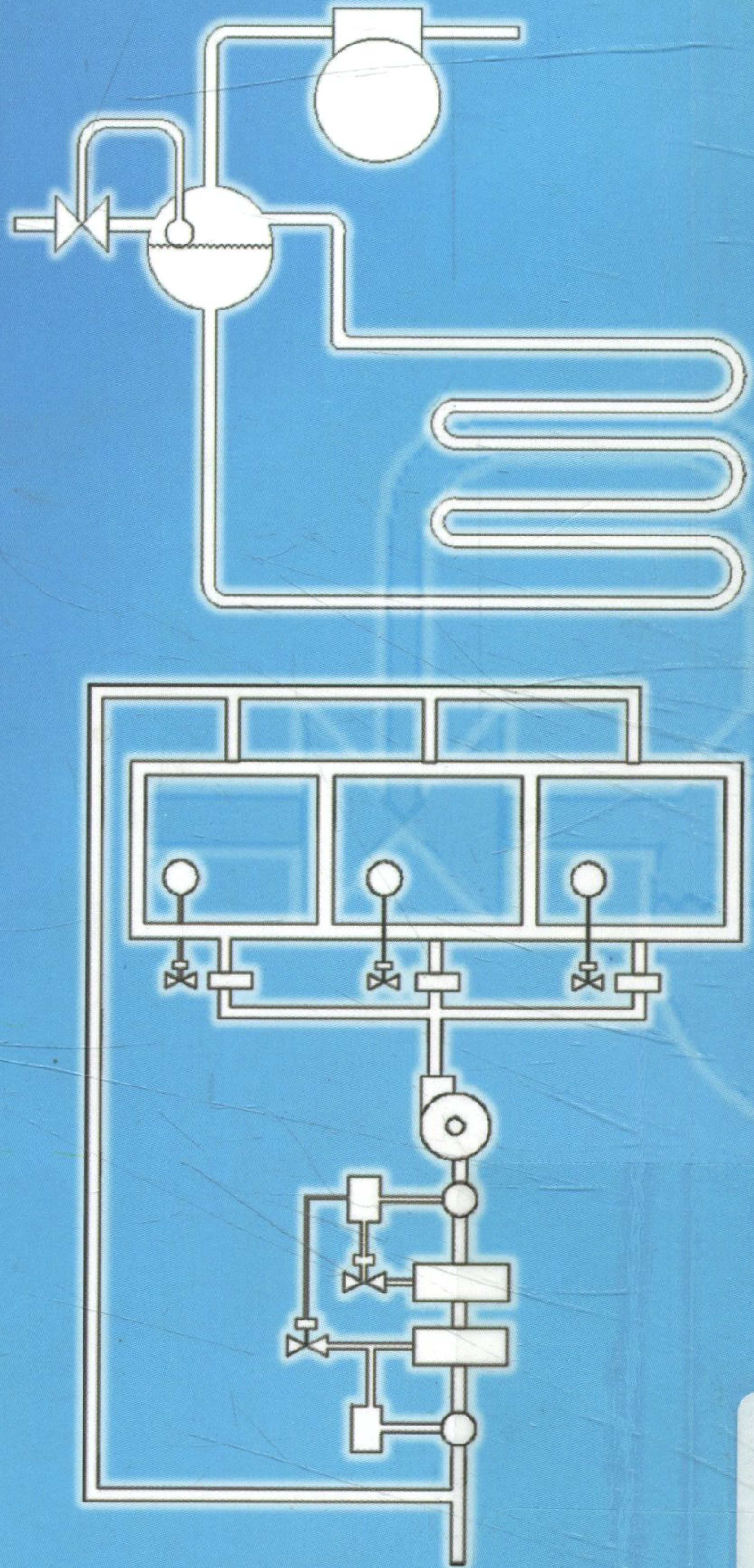
وسائل التحكم في

أنظمة التبريد وتكييف الهواء



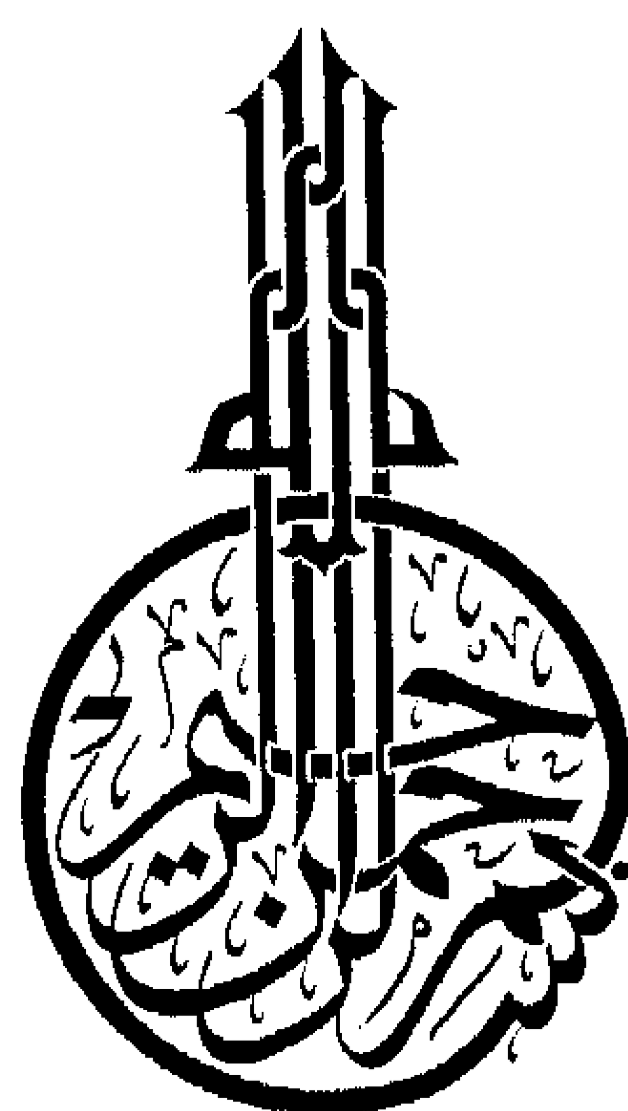
تأليف

د. عبدالعزيز بن محمد الكليبي

Qassim University

النشر العلمي والترجمة

جامعة القصيم


بسم الله الرحمن الرحيم

إهـداء ٢٠١٥

الملحقية الثقافية السعودية

القاهرة

وسائل التحكم في أنظمة التبريد وتكييف الهواء

تأليف

د. عبد العزيز بن محمد الكليبي

Qassim University

جامعة القصيم

النشر العلمي والترجمة

بريدة - ص.ب. ٦٦٦٦ - ٥١٤٥٢

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

الكليبي، عبد العزيز بن محمد

وسائل التحكم في أنظمة التبريد و تكييف الهواء. / عبد العزيز بن محمد الكليبي.- بريدة، ١٤٣٤هـ

٢٢٢ص؛ ١٧×٢٤ سم

ردمك: ٣-٤٥-٨٠١٨-٦٠٣-٩٧٨

١- تكييف الهواء ٢- التبريد أ.العنوان

ديوي ٦٩٧,٩ ١٤٣٤/٢٢٠٦

رقم الإيداع: ١٤٣٤/٢٢٠٦

ردمك: ٣-٤٥-٨٠١٨-٦٠٣-٩٧٨

وافق المجلس العلمي بالجامعة بقراره رقم (١٧-٣-١٤٣٣/٣هـ) بجلسته الثالثة للعام الدراسي ١٤٣٣/١٤٣٤هـ المنعقدة بتاريخ ١٤٣٣/١١/٢٣هـ الموافق ٢٠١٢/١٠/٠٩م على نشر هذا الكتاب وطباعته.

المقدمة

التبريد وتكييف الهواء من العلوم الرئيسة في مجال الهندسة الحرارية ويعتبر من التخصصات المطلوبة لكون التبريد وتكييف الهواء من ضروريات الحياة المعاصرة. يمكن بواسطة مخازن التبريد ووسائل النقل المبردة الاحتفاظ بالأطعمة والخضار والفواكه لمدة طويلة ونقلها من مكان زراعتها إلى أماكن أخرى بعيدة لبيعها. بواسطة أنظمة التكييف أصبح الحصول على الراحة الحرارية امر ممكن ومشاهد حتى في المناطق الشديدة الحرارة أو القاسية البرودة وعلى مدار العام.

نظراً لأن التبريد وتكييف الهواء يتفرع إلى عدة موضوعات فكان من الأفضل اختيار موضوع لم يأخذ حظه الكافي من النشر خاصة باللغة العربية. هذا الكتاب يتحدث بالتفصيل والوضوح عن وسائل التحكم والسلامة في مجال التبريد والتكييف وينقسم إلى ثلاثة فصول. الفصل الأول يتحدث بالتفصيل عن وسائل التمدد في أنظمة التبريد، مثل: الأنبوبة الشعرية وصمام التمدد الأوتماتيكي وصمام التمدد الثيرموستاتي صمام التمدد الكهربائي الحراري والفصل الثاني يتحدث عن أدوات التحكم، والحماية في نظم التبريد، مثل: منظم ضغط المبخر، وصمام التحكم في درجة حرارة المبخر، ومنظم ضغط المكثف، ووسائل التحكم في السعة، وفاصل الضغط العالي، وفاصل الضغط المنخفض، والفصل الثالث يتحدث عن عناصر

التحكم التلقائي المستخدمة وأنواع الحاكمات وأدوات التحكم المستخدمة في تكييف الهواء، وكيفية تطبيقاتها على منظومات التكييف المختلفة الأغراض. يحتوي الكتاب على أكثر من مئة شكل توضيحي بالإضافة إلى ذلك يحتوي هذا الكتاب على ملحقات تضم جداول التشبع وخرائط p-h لبعض وسائط التبريد كذلك بعض الرسومات التي توضح علاقة ضغط التشبع بدرجة الحرارة.

هذا الكتاب نتاج تدريس عدة مقررات في تخصص التبريد وتكييف الهواء لعدة فصول في الكليات التقنية المختلفة التابعة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب التقني في المملكة العربية السعودية ؛ في كلية التقنية في جدة ثم في كلية التقنية في بريدة ويمكن الاستفادة منه من قبل المهتمين بالتبريد وتكييف الهواء وطلاب الكليات والمعاهد التي تدرس تخصص التبريد وتكييف الهواء.

المؤلف

المحتويات

الفصل الأول

وسائل التمدد في أنظمة التبريد

Expansion Devices in Refrigeration Systems

تُقسّم المبخرات إلى مبخرات جافة Dry-expansion Evaporators ومبخرات مغمورة Flooded Evaporators كما في الشكل رقم (١,١).

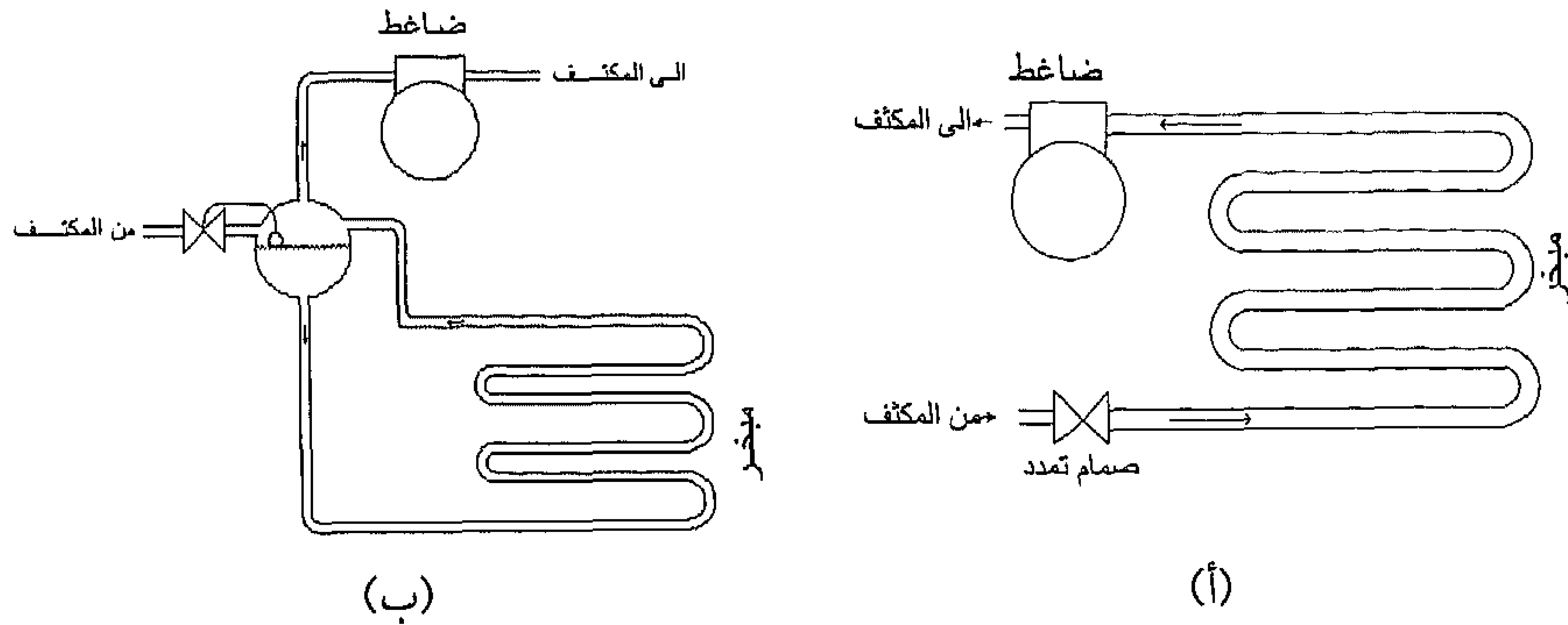
وسيط التبريد في المبخرات المغمورة يكون في غلاف المبخر (Shell) خارج الأنابيب بحيث يغمر الأنابيب التي يسري في داخلها المائع المُبرِّد (مثل الماء) وهذا يضمن ملامسة وسيط التبريد لجميع سطح المبخر أو يكون داخل الأنابيب إذا كان الغرض تبريد الهواء. في كلا الحالتين يكون مستوى وسيط التبريد داخل المبخر ثابت أما في المبخرات الجافة فيكون معدل شحنة سائل وسيط التبريد الداخل للمبخر محددة بحيث يمكن تبخرها جميعاً قبل خروج وسيط التبريد من المبخر.

لضمان وصول وسيط التبريد للضاغط في حالة غازية فقط، يُصمم المبخر الجاف بحيث يكون وسيط التبريد محمصا بمقدار (6 °C) عند خروجه من المبخر وهذا يتطلب ١٠ ٪ تقريباً من مساحة المبخر.

بينما تتميز المبخرات المغمورة عن المبخرات الجافة بأنها تضمن ملامسة سائل التبريد لأكبر قدر من السطح الخارجي لأنابيب المبخر، وبالتالي يحدث التبادل الحراري بفعالية

أكبر تتميز المبخرات الجافة عن المبخرات المغمورة بسهولة تصنيعها وصغر حجمها، وبالتالي قلة تكلفتها وتحتاج إلى شحنة أقل ومشاكل عودة الزيت إلى الضاغط أقل.

تختلف طرق خفض الضغط في منظومات التبريد التي تستخدم المبخرات الجافة عنها في تلك التي تستخدم المبخرات المغمورة. وسائل التمدد المستخدمة مع المبخرات الجافة الأكثر شيوعاً هي الأنبوبة الشعرية وصمام التمدد الأوتماتيكي، وصمام التمدد الثيرموستاتي، وصمام التمدد الكهربائي الحراري. أما في المبخرات المغمورة فيُستخدم لخفض الضغط عوامة جانب الضغط المنخفض، وعوامة جانب الضغط العالي. سوف نتحدث في هذا الفصل عن تلك الوسائل بالتفصيل. بالإضافة إلى خفض الضغط، بعض وسائل التمدد المذكورة تعمل على تنظيم سريان وسيط التبريد، وبالتالي تعتبر من أدوات التحكم ايضا. ولكن لكونها من العناصر الرئيسية لمنظومة التبريد، تم افرادها بفصل مستقل.



الشكل رقم (١,١). أنواع المبخرات (أ) مبخر جاف (ب) مبخر مغمور.

(١,١) وسائل التمدد في المبخرات الجافة

Expansion Devices in Dry-Expansion Evaporators

(١,١,١) الأنبوبة الشعرية Capillary tube

عبارة عن أنبوب له قطر صغير جداً وطويل نوعا ما، حيث إن طول الأنبوبة الشعرية أكبر من قطرها بـ 500 مرة على الأقل (الجدول رقم ١،١). يتضح من الجدول أن الأنبوبة الشعرية لها أقطار أقل من 1 mm وطولها ممكن أن يتجاوز النصف متر.

الأنبوبة الشعرية المستخدمة في المكيفات لها أقطار أكبر من تلك التي تستخدم في الثلاجات؛ لأن معدل سريان وسيط التبريد يكون أكبر في المكيفات.

الجدول (١,١). أبعاد نوعين من الأنبوبة الشعرية.

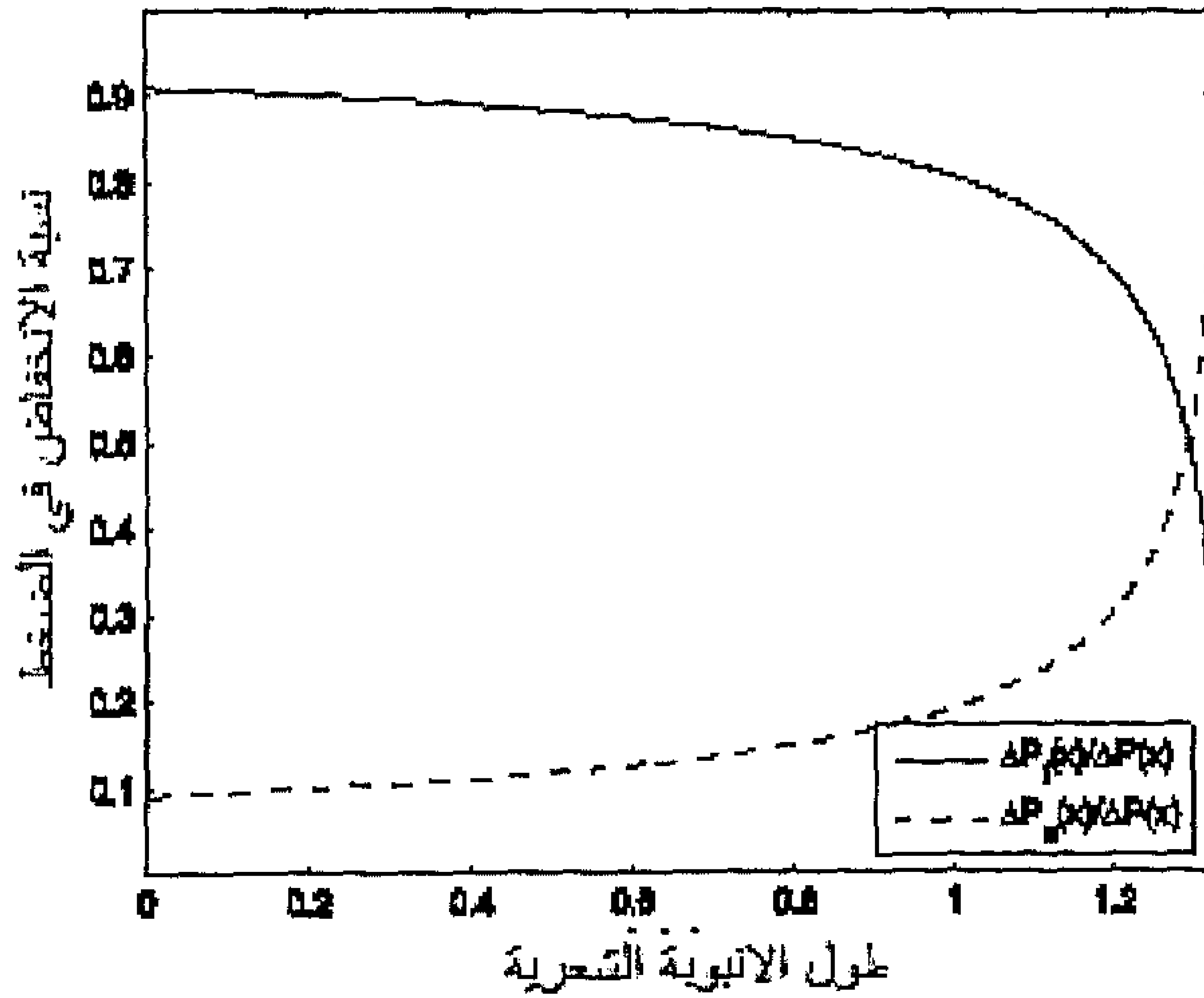
القطر الداخلي (mm)	0.78	0.9144
الطول (mm)	335.28	670.56

وظيفة الأنبوبة الشعرية خفض ضغط وسيط التبريد من ضغط التكثيف (ضغط عالي) إلى ضغط التبخير (ضغط منخفض).

يهبط الضغط في الأنبوبة الشعرية لسببين: السبب الرئيس هو الاحتكاك بين مائع التبريد والجدار الداخلي للأنبوبة والسبب الثاني تسارع المائع في الأنبوبة نتيجة تحول جزء من وسيط التبريد السائل إلى بخار خلال سريان مائع التبريد في الأنبوبة.

الشكل رقم (١،٢) يوضح نسبة الانخفاض في الضغط بسبب الاحتكاك وكذلك نسبة الهبوط في الضغط بسبب تسارع مائع التبريد في الأنبوبة من مجموع الهبوط في الضغط الكلي (Alklaibi, 2009). كما نلاحظ أن الهبوط في الضغط بسبب الاحتكاك يشكل السبب الرئيس لحوالي ثلثي طول الأنبوبة الشعرية ولكن في الجزء الأخير من

الأنبوبة يهبط الضغط بصورة رئيسة بسبب تسارع مائع التبريد في الأنبوبة وذلك لأن معدل تحول السائل إلى غاز يتم بشكل أسرع.



الشكل رقم (١،٢). نسبة الانخفاض في الضغط بسبب الاحتكاك ΔP_f وكذلك نسبة الهبوط في الضغط بسبب تسارع مائع التبريد في الأنبوبة الشعرية ΔP_a من مجموع الهبوط في الضغط الكلي ΔP_T خلال الأنبوبة الشعرية (ref. 1).

يُحسب الهبوط في الضغط بسبب الاحتكاك (ΔP_f) من العلاقة الآتية :

$$\Delta P_f = f \frac{L}{D} \frac{u^2}{2v}$$

حيث إن L طول الأنبوبة.

D قطر الأنبوبة الداخلي.

v الحجم النوعي المتوسط لوسيط التبريد السائل.

u السرعة المتوسطة لوسيط التبريد في الأنبوبة.

f معامل الاحتكاك.

ويحسب الهبوط في الضغط بسبب تسارع مائع التبريد في الأنبوبة (ΔP_a) من العلاقة الآتية :

$$\Delta P_a = \Delta u \frac{4\dot{m}}{\pi d^2}$$

حيث إن Δu التغير في السرعة خلال السريان و $\dot{m}$ معدل سريان وسيط التبريد داخل الأنبوبة و d قطر الأنبوبة .

مثال (١,١): حساب الهبوط في الضغط بسبب الاحتكاك في الأنبوبة الشعرية.

احسب الهبوط في الضغط بسبب الاحتكاك لأنبوبة شعرية طولها 670 mm وقطرها الداخلي 0.914 mm إذا كان متوسط السرعة في الأنبوبة شعرية 20 m/s لوسيط التبريد R-22 حيث إن لزوجته $1.907(10)^{-4}$ Pa.s وحجمه النوعي المتوسط m^3/kg $3.34x10^{-3}$ علماً بأن السطح الداخلي ناعم.

الحل:

يحسب الهبوط في الضغط بسبب الاحتكاك في الأنبوبة الشعرية من

$$\Delta P_f = f \frac{L}{D} \frac{u^2}{2v}$$

هنا $L = 670\ mm = 0.67\ m$ و $D = 0.914x10^{-3}\ m$ و $v = 3.34x\ 10^{-3}\ m^3/kg$

و $u = 30\ m/s$

يمكن الحصول على معامل الاحتكاك (f) من خريطة مودي في ملحق (C) وهذا يتطلب حساب رقم رينلدز (Re) كمل يلي :

$$\text{Re} = \frac{\rho u D}{\mu}$$

هنا $\rho=1/v=1/\ 3.34x\ 10^{-3}=299.4\ kg/m^3$ و $\mu = 1.907(10)^{-4}$ Pa.s

وبذلك يكون

$$Re = \frac{299.4 * 30 * 0.91x\,10^{-3}}{1.907x\,10^{-4}} = 42861$$

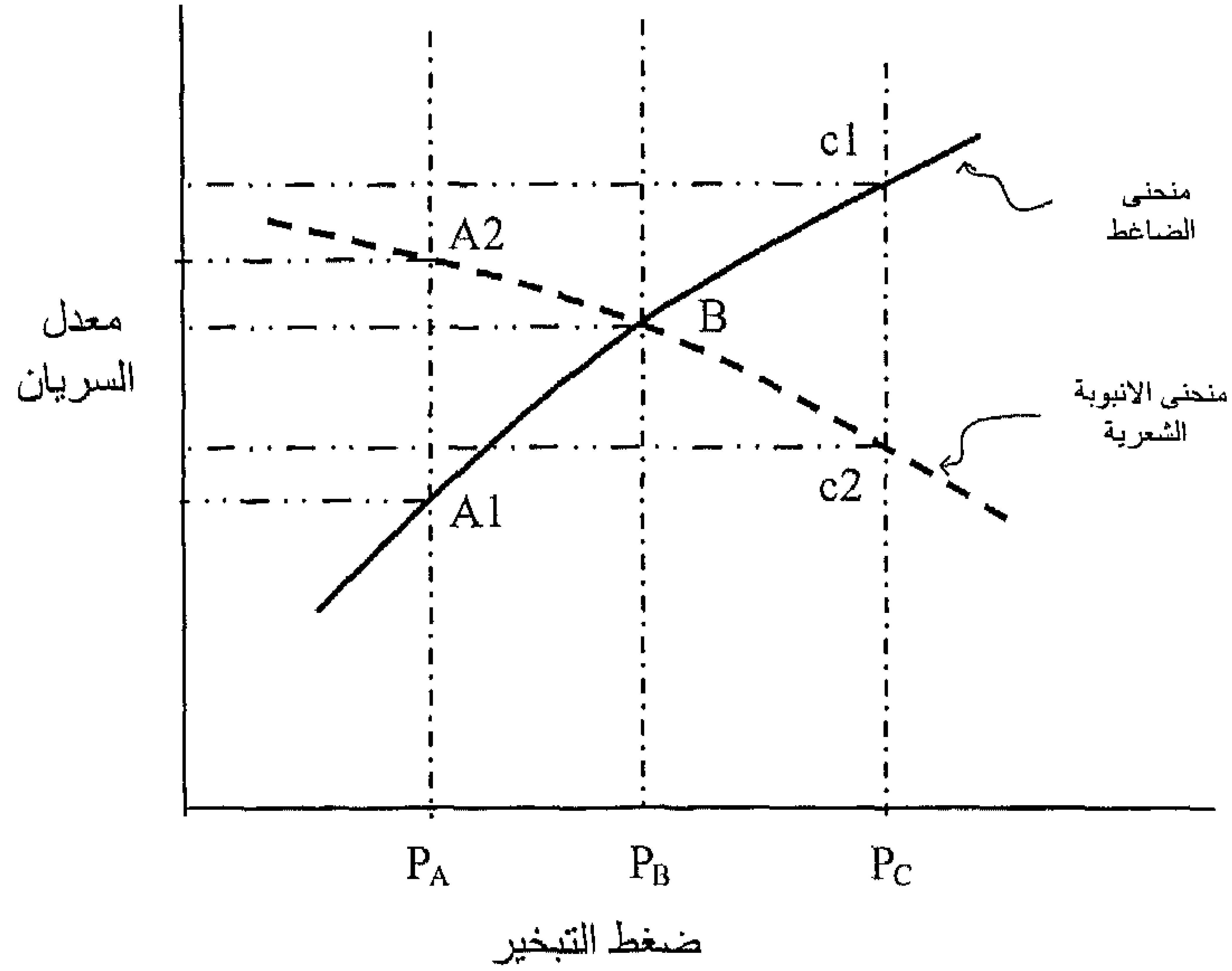
من خريطة مودي (ملحق C) نجد أن $f = 0.025$

بالتعويض في المعادلة السابقة نحصل على

$$\Delta P_f = 0.025 * \frac{0.67}{0.914x\,10^{-3}} * \frac{(20)^2}{2 * 3.34x\,10^{-3}} = 10.97\ bar$$

أداء منظومة التبريد المزودة بأنبوبة شعرية مع تغير الحمل الحراري:

الشكل رقم (١،٣) يوضح تغير معدل السريان في الأنبوبة الشعرية والضاغط مع ضغط التبخير لمنظومة مزودة بأنبوبة شعرية. النقطة B تمثل تقاطع منحنى الضاغط مع منحنى الأنبوبة الشعرية وتسمى نقطة اتزان، حيث يتساوى معدل السريان الخارج والداخل للمبخر. عندما يزيد الحمل الحراري على المبخر ويمثل في الشكل بزيادة ضغط التبخير من P_B إلى P_C ينتج من ذلك زيادة لمعدل السريان في الضاغط من $\dot{m}_B$ إلى $\dot{m}_{C1}$ وانخفاض معدل السريان في الأنبوبة الشعرية من $\dot{m}_B$ إلى $\dot{m}_{C2}$ ، أي أن معدل السريان الخارج من المبخر أعلى من معدل السريان الداخل له، وبذلك يحدث تعطيش للمبخر (starving). في الحالة المغايرة عندما يقل الحمل الحراري على المبخر، ويمثل في الشكل بانخفاض ضغط التبخير من P_B إلى P_A ، ينتج من ذلك انخفاض لمعدل السريان في الضاغط من $\dot{m}_B$ إلى $\dot{m}_{A1}$ وزيادة لمعدل السريان في الأنبوبة الشعرية من $\dot{m}_B$ إلى $\dot{m}_{A2}$ ، أي أن معدل السريان الخارج من المبخر أقل من معدل السريان الداخل له، وبذلك يحدث طفح للمبخر (flooding).



الشكل رقم (١,٣). أداء الأنبوبة الشعرية مع تغير الحمل.

تتميز الأنبوبة الشعرية بما يلي:

- رخيصة الثمن إذا ما قورنت بوسائل التمدد الأخرى لسهولة تصنيعها.
- تبقى صالحة للاستعمال لفترات أطول من غيرها من وسائل التمدد الأخرى وذلك لعدم احتوائها على أجزاء متحركة.
- لا يحتاج الضاغط إلى محرك ذي عزم بدأ عالي (high starting torque motor) وذلك أنه عند توقف الضاغط يستمر مرور مائع التبريد في الأنبوبة الشعرية من المكثف (ضغط عالي) إلى المبخر (ضغط منخفض) حتى تتعادل الضغوط ويصبح بذلك ضغط الطرد منخفض نسبيا عند بدأ التشغيل مرة أخرى.

من عيوب الأنبوبة الشعرية:

- غير متهيئة للتعامل مع التغير في الحمل الحراري. زيادة الحمل الحراري عن نقطة تصميمه تسبب عطشاً للمبخر (starving) وانخفاضه يسبب طفحاً للمبخر

(flooding) وكلاهما له تأثير سلبي. سبق الحديث عن ذلك في فقرة أداء الأنبوبة الشعرية مع تغير الحمل.

• نظراً لصغر قطرها، تكون الأنبوبة الشعرية معرضة للانسداد بمواد أو شوائب ورطوبة قد تكون موجودة داخل دورة التبريد وعادةً يستخدم مصفاة (filter) أو مصفاة مزودة بمجفف (filter-drier) عند مدخل الأنبوبة الشعرية لتقليل احتمال انسدادها.

• نظراً لأن كمية الشحنة يجب أن تكون محددة داخل النظام عندما تكون وسيلة التمدد الأنبوبة الشعرية، فإنه من الضروري عدم تجاوز الشحنة عند شحن وحدة التبريد بوسيط التبريد، والتي تكون عادةً مكتوبة على لوحة البينات (Name plate)، وهذا يتطلب مهارة وخبرة من قبل من يقوم بعملية الشحن.

لف الأنبوبة الشعرية مع خط السحب:

نلاحظ في الشكل رقم (١،٤) أن جزء من الأنبوبة الشعرية تم لفه مع خط السحب وينتج من ذلك تبادل حراري موضح في الجزء المكبر في الشكل ومنه يمكن كتابة معادلة الاتزان الحراري كما يأتي:

$$(h_{1'} - h_1) = (h_3 - h_{3'})$$

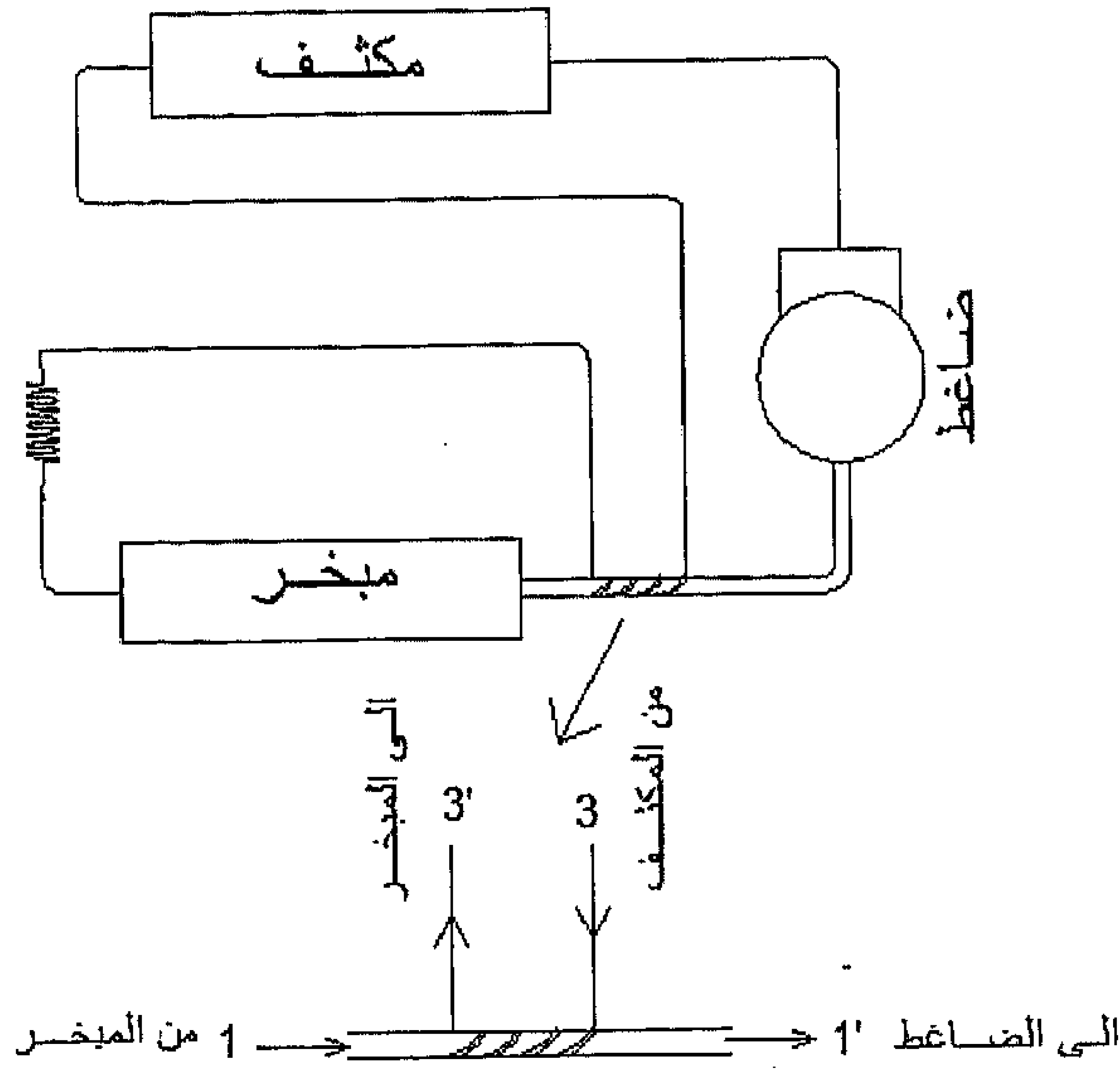
حيث إن h_1 و $h_{1'}$ الانثالبي في خط السحب قبل وبعد المبادل الحراري على التوالي.

و h_3 و $h_{3'}$ الانثالبي في خط السائل قبل وبعد المبادل الحراري على التوالي.

الغرض من لف جزء من الأنبوبة الشعرية مع خط السحب لتعمل كمبادل حراري:

• ضمان وجود تحميص للبخار الخارج من المبخر قبل دخوله للضاغط حفاظاً على سلامة الضاغط.

• ضمان وجود تبريد تحتي (تبريد دوني) للسائل قبل دخوله للأنبوبة الشعرية وبذلك يكون معدل السريان في الأنبوبة الشعرية أكبر. عدم وجود تبريد تحتي يؤدي إلى وجود فقاعات (bubbles) مما يعوق سريان وسيط التبريد في الأنبوبة .



الشكل رقم (١,٤). لف جزء من الأنبوبة الشعرية على خط السحب لتعمل كمبادل حراري.

ولكن كيف يؤثر لف جزء من الأنبوبة الشعرية على خط السحب على أداء دورة التبريد ؟ المثال الآتي يُجيب عن ذلك.

مثال (١,٢): تأثير لف جزء من الأنبوبة الشعرية على خط السحب على معامل الأداء.

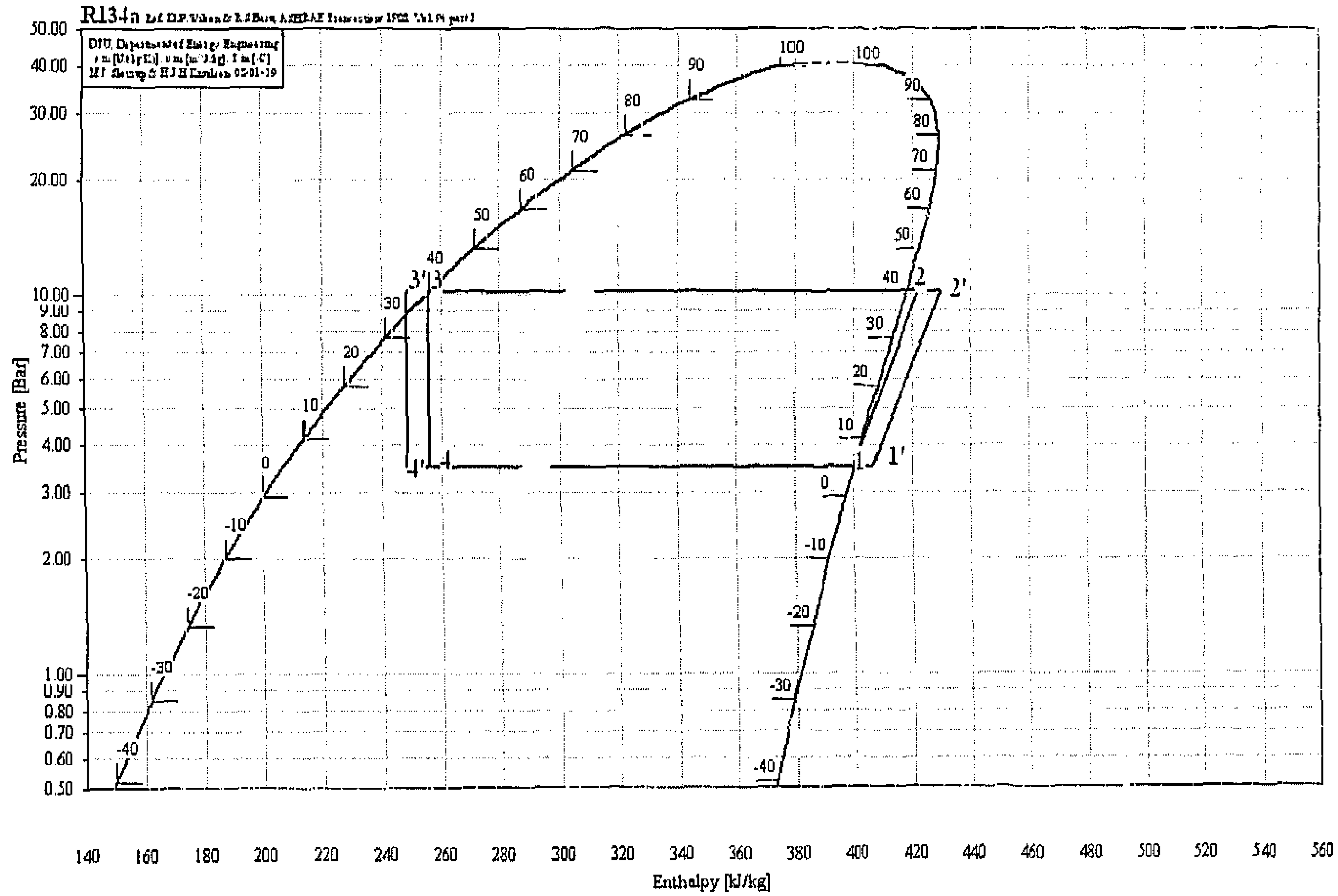
أوجد معامل الأداء (COP) لنظام تبريد يستخدم وسيط تبريد R-134a يعمل بين درجتي حرارة 5 °C و 40 °C لكلٍّ من الحالات الآتية :

▪ دورة تبريد مثالية.

▪ دورة تبريد تم فيها لف جزء من الأنبوبة الشعرية مع خط السحب لتعمل كمبادل حراري بحيث يحمص وسيط التبريد الخارج من المبخر بمقدار 7°C ويبرد وسيط التبريد الخارج من المكثف تبريد تحتي.

الحل:

في دورة التبريد المثالية: يخرج وسيط التبريد من المبخر غازاً مشبعاً ويخرج من المكثف سائل مشبع وتمثل دورة التبريد المثالية بالنقاط 1-2-3-4-1 في الشكل رقم (١,٥)



الشكل رقم (١,٥). خريطة الضغط – الانثالبي (p-h) تابعة لمثال (١,٢).

يُحسب معامل الأداء من التأثير التبريدي (RE) وشغل الانضغاط (W_c) كما يلي :

$$COP = \frac{RE}{Wc}$$

حيث إن :

$$Wc = h_2 - h_1 \quad \text{و} \quad RE = h_1 - h_4$$

من خريطة p-h لوسيط تبريد R134a يمكن إيجاد الانثالبي عند النقاط المطلوبة على النحو الآتي :

$h_1 = 400$ kJ/kg, $h_2 = 422$ kJ/kg, $h_3 = h_4 = 256$ kJ/kg

وبذلك يكون : $W_c = 22$ KJ/kg و $RE = 144$ KJ/kg فنحصل على معامل الأداء
COP = 6.54

عند لف جزء من الأنبوبة الشعرية على خط السحب يحصل تبادل حراري بحيث يصبح غاز وسيط التبريد الخارج من المبخر محمصاً ويُبرد سائل وسيط التبريد الخارج من المكثف تبريداً تحتياً وبذلك تمثل دورة التبريد بـ '1 - '2- '3- '4- '1 في الشكل رقم (١,٥).

يُحسب معامل الأداء (COP) من التأثير التبريدي (*RE*) وشغل الانضغاط (W_c) كما يلي :

$$COP = \frac{RE}{Wc}$$

حيث إن :

$$RE = h_1 - h_{4'} \quad \text{و} \quad W_C = h_{2'} - h_{1'}$$

من خريطة p-h لوسيط تبريد R134a يمكن إيجاد الانثالبي عند النقاط المطلوبة كما يلي :

$h_{1'} = 405$ kJ/kg, $h_{2'} = 430$ kJ/kg, $h_3 = 256$ kJ/kg

ومن معادلة الاتزان الحراري على المبادل الحراري يمكن إيجاد $h_{3'}$:

$$(h_{1'} - h_1) = (h_3 - h_{3'})$$

ومنه :

$$h_{3'} = h_3 - (h_{1'} - h_1) = 256 - (405\text{-}400) = 251 \text{ kJ/kg}$$
$$\therefore h_{4'} = h_{3'} = 251 \text{ kJ/kg}$$

وبذلك يكون: $RE = 149$ KJ/kg و $W_c = 23.5$ KJ/kg وبالتالي نحصل على معامل الأداء

$$COP = 6.34$$

إذاً تحت ظروف التشغيل المعطاة نجد أن لف جزء من الأنبوبة الشعرية على خط السحب يؤدي بشكل طفيف إلى خفض معامل الأداء (حوالي ٢٪) ولكن بتأكيد تعني أنه ليس له تأثير ملحوظ على معامل الأداء للدورة، ولذلك فإن الأغراض الإيجابية المذكورة سابقاً من لف جزء من الأنبوبة على خط السحب لن يقابله انخفاض ملموس في معامل الأداء.

استخدام الرسومات لاختيار الأنبوبة الشعرية:

يمكن استخدام الرسومات في الأشكال (C–6) في الملحق C لاختيار أبعاد الأنبوبة الشعرية (طولها وقطرها) لمعدل سريان معين.

الشكل رقم (C–6 a) يمثل معدل السريان كدالة في الضغط عند مدخل الأنبوبة الشعرية لأنبوبة طولها 2.03 m وقطرها 1.63 mm المنحنيات المتعددة في الشكل تمثل حالة وسيط التبريد عند مدخل الأنبوبة الشعرية (سائل مشبع، مُبرد تحتي، محمص) الشكل رقم (C–6 b) مكمل للشكل رقم (C–6 a) بحيث يسمح بتعيين معدل السريان ($\dot{m}$) لأنبوبة لها أبعاد مختلفة عن تلك التي في الشكل رقم (C–6 a) عن طريق العلاقة الآتية:

$$\dot{m} = \psi \dot{m}_o$$

حيث إن $\dot{m}_o$ معدل السريان من الشكل رقم (C–6 a)

و ψ معامل التصحيح من الشكل رقم (C–6 b)

الأمثلـة الآتيـة توضـح كيفيـة اسـتخدام الرسـومات البيانيـة لاختيـار الأنبوبـة الشعرية.

مثال (١,٣): استخدام الرسومات البيانية لاختيار الأنبوبة الشعرية.

أوجد معدل السريان لأنبوبة شعرية طولها 2 m وقطرها 2 mm إذا كان الضغط عند مدخلها 1000 kPa ووسيط التبريد في حالة تبريد تحتي بمقدار 5 °C

الحل:

من الشكل رقم (a 6–C) عند ضغط 1000 kPa و تبريد تحتي 5 °C نجد ان

$$\dot{m}_o = 0.009 \text{ Kg/s}$$

من الشكل رقم (b 6–C) عند طول 2 m وقطر داخلي 2 mm نجد أن معامل التصحيح (ψ) يساوي 1.7 ، وبذلك يكون معدل السريان المطلوب

$$\dot{m} = \psi \dot{m}_o$$

$$\therefore \dot{m} = (1.7)(0.009) = 0.0153 \text{ kg/s}$$

مثال (١,٤): استخدام الرسومات البيانية لاختيار الأنبوبة الشعرية.

إذا أردنا أن يكون معدل سريان وسيط التبريد 0.0153 Kg/s في أنبوبة شعرية قطرها 2 mm فكم يكون طولها إذا كان الضغط عند مدخلها 1500 kPa ضغط مشبع.

الحل:

من الشكل رقم (a 6–C) عند تقاطع ضغط 1500 kPa ومنحنى السائل المشبع نجد أن : $\dot{m}_o = 0.010$ Kg/s و من معطيات السؤال $\dot{m} = 0.0153$ Kg/s

وبذلك يكون معامل التصحيح (ψ)

$$\psi = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_o}$$

$$\psi = 0.0153/0.010 = 1.5$$

من الشكل (b 6–C) عند تقاطع ψ=1.5 وقطر داخلي 2 mm يكون طول الأنبوبة 2.5 mm

مثال (١,٥): استخدام الرسومات البيانية لاختيار الأنبوبة الشعرية.

أنبوبة شعرية قطرها الداخلي 1.63 mm ما هو طولها لكي تكافئ أنبوبة شعرية قطرها الداخلي 2 mm و طولها 2 m

الحل:

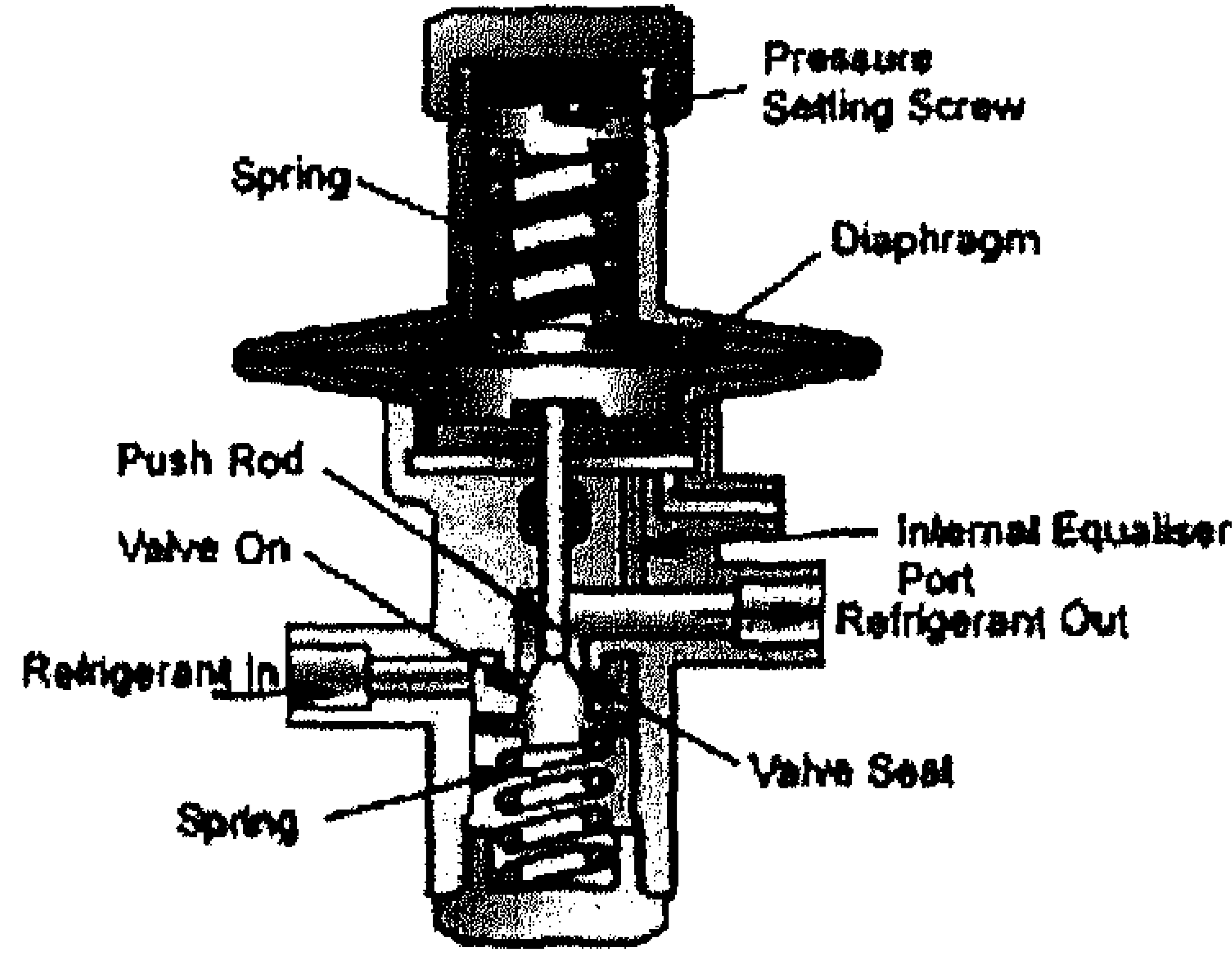
من الشكل (b 6–C) عند تقاطع قطر داخلي 2 mm و طول 2 m يكون معامل التصحيح ψ= 1.7 و من الشكل (b 6–C) مرة أخرى عند تقاطع معامل التصحيح ψ= 1.7 وقطر داخلي 1.63 mm يكون الطول 0.6 m .

هذا يعني أن أنبوبة شعرية قطرها الداخلي 2 mm وطولها 2 m تكافئ أنبوبة شعرية قطرها الداخلي 1.63 mm وطول 0.6 m .

(١,١,٢) صمام التمدد الأوتماتيكي Automatic Expansion valve (AEV)

الأجزاء الرئيسة لصمام التمدد **الأوتماتيكي** كما يظهر بعضها في الشكل رقم (١,٦) :

- إبرة Needle و قاعدة Seat.
- منفاخ (Bellows) أو غشاء (Diaphragm).
- زنبرك قابل للضبط (Adjusting Spring).
- مسمار ضبط (Adjusting screw).
- زنبرك غير قابل للضبط (Unadjusting Spring).
- مصفاة (Strainer).



الشكل رقم (١,٦). أجزاء صمام التمدد الأتماتيكي (ref.3).

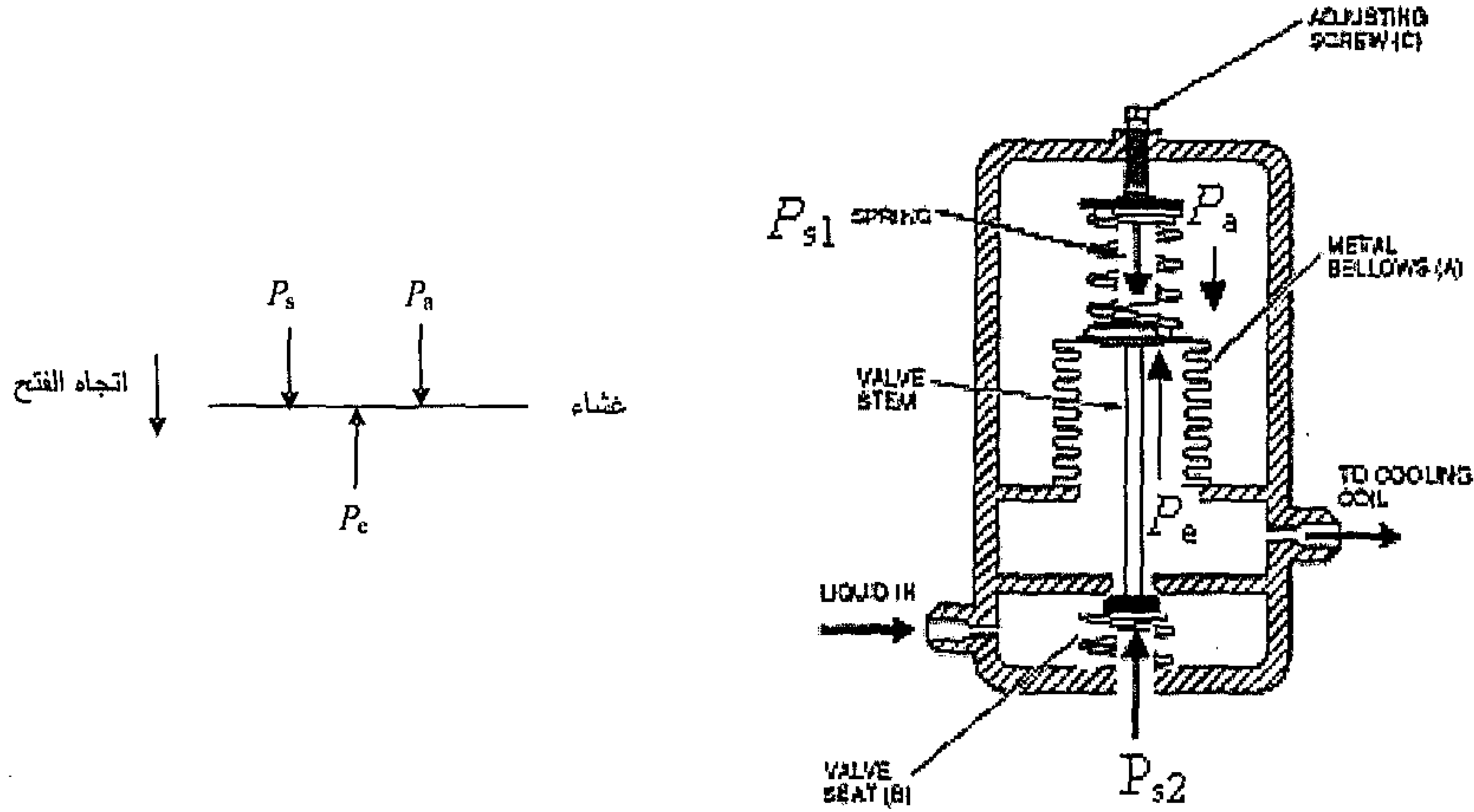
وظيفة صمام التمدد الأوتماتيكي وكيف يؤديها

بالإضافة إلى خفض ضغط وسيط التبريد من ضغط التكثيف (ضغط عالي) إلى ضغط التبخير (ضغط منخفض) يعمل صمام التمدد الأتماتيكي على إبقاء الضغط عند مخرج الصمام (ضغط التبخير) ثابتاً عند قيمة محددة عن طريق تنظيم معدل السريان المار خلاله. وبذلك يكون مناسباً للتطبيقات التي تتطلب حمل تبريد ثابت مثل مبردات المياه والمشروبات الغازية (Soft drinks) والمجمدات (Freezers).

الشكل رقم (١,٧) يوضح القوي المؤثرة على AEV وهي:

- قوة ناشئة من ضغط التبخير (P_e) وتؤثر على الغشاء من الأسفل وتعمل على غلق الصمام.
- قوة ناشئة من الزنبرك (P_{S1}) وتؤثر على الغشاء من الأعلى وتعمل على فتح الصمام.

• قوة ناشئة من الضغط الجوي (P_a) وتؤثر على الغشاء من الأعلى وتعمل على فتح الصمام.



الشكل رقم (١,٧). القوى المؤثرة على صمام التمدد الأوتماتيكي.

غالباً تمثل القوى المؤثرة على AEV بقوتين فقط هما P_e وتعمل على غلق الصمام و P_s و تعمل على فتح الصمام حيث تمثل القوى التي لا تتغير مع الحمل.

ويكون الصمام في حالة اتزان إذا كان

$$P_s = P_e$$

وتعني حالة الاتزان أن معدل سريان وسيط التبريد الداخل للمبخر يساوي معدل سريان وسيط التبريد الخارج منه.

P_e هي القوة الوحيدة التي تتأثر بدرجة حرارة التبخير (T_e) فتتغير قيمتها بتغير الحمل الحراري.

يستجيب الصمام للتغير في الحمل الحراري كما يلي:

إذا افترضنا أن الشكل رقم (١,٨أ) يمثل مساحة السطح الفعالة للمبخر (مساحة السطح الذي يلامسه سائل وسيط التبريد) عندما تكون القوى المؤثرة على الصمام في حالة اتزان $(P_s = P_e)$ فأنه عند زيادة الحمل الحراري يزيد ضغط التبخير وبذلك تصبح

$$P_e > P_s$$

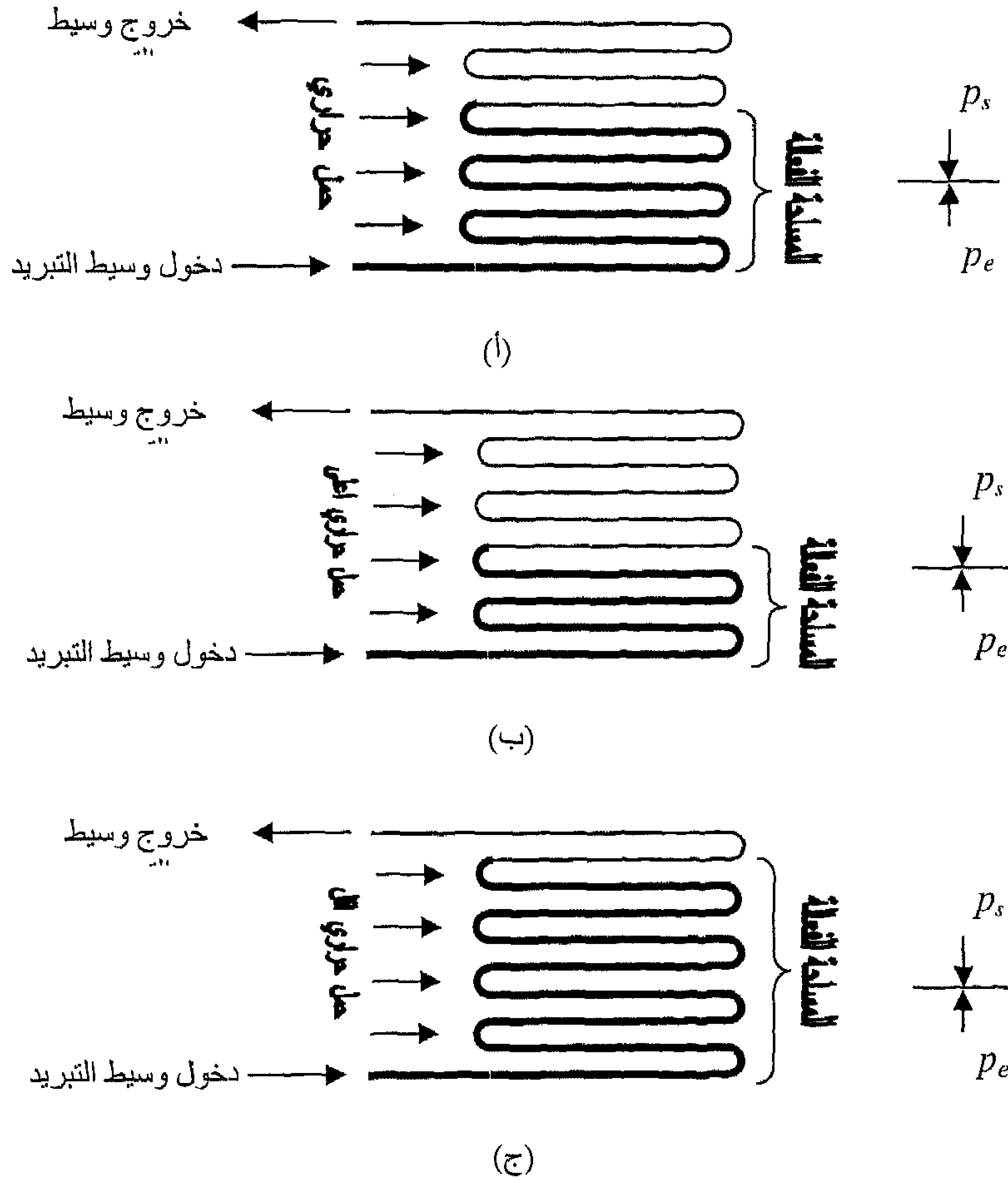
فتتحرك إبرة الصمام في اتجاه الغلق ونتيجة لذلك يقل معدل سريان وسيط التبريد الداخل إلى المبخر فتقل مساحة السطح الفعالة للمبخر، كما هو موضح في الشكل رقم (١,٨ب) والنتيجة أن معدل تبخر وسيط التبريد يقل، مما يجعل ضغط التبخير (P_e) ينخفض ويعود إلى قيمته السابقة وتحصل عملية اتزان القوى عند نفس ضغط التبخير السابقة على الرغم من زيادة الحمل الحراري.

في الحالة المقابلة إذا قل الحمل الحراري قل ضغط التبخير وتصبح

$$P_e < P_s$$

وبذلك تتحرك إبرة الصمام في اتجاه الفتح ونتيجة لذلك يزيد معدل سريان وسيط التبريد الداخل إلى المبخر فتزيد مساحة السطح الفعالة للمبخر (مساحة السطح الذي يلامسه سائل وسيط التبريد) كما هو موضح في الشكل رقم (١,٨جـ) فيزيد معدل التبخير في المبخر الأمر الذي يجعل ضغط التبخير يرتفع من جديد ويعود إلى نقطة ضبطه وتحصل عملية الاتزان عند نفس قيمة P_e السابقة على الرغم من انخفاض الحمل الحراري.

نظراً لأن صمام **التمدد الأوتماتيكي** ينظم سريان وسيط التبريد مع تغير الحمل فمن الضروري وجود خزان سائل (Liquid receiver) في خط السائل عند مدخل الصمام لاستيعاب وسيط التبريد عند عدم الحاجة إليه في دائرة التبريد.



الشكل رقم (١,٨). تغير مساحة السطح الفعالة للمبخر مع تغير الحمل الحراري للمحافظة على ضغط تبخير ثابت.

الأوتماتيكي يتم معرفة ضغط التشبع المقابل لدرجة حرارة التبخير، ثم تدوير مسمار الضبط بشكل بسيط (1/2 لفة) أو حسب كتالوج الصمام، ثم الانتظار إلى أن تصل درجة حرارة التبخير إلى حالة استقرار ثم قراءة ضغط التبخير ويتم تكرار ذلك إلى أن يتم الحصول على ضغط التبخير المناسب، وبالتالي درجة حرارة التبخير المناسبة.

عيوب صمام التمدد الأوتماتيكي:

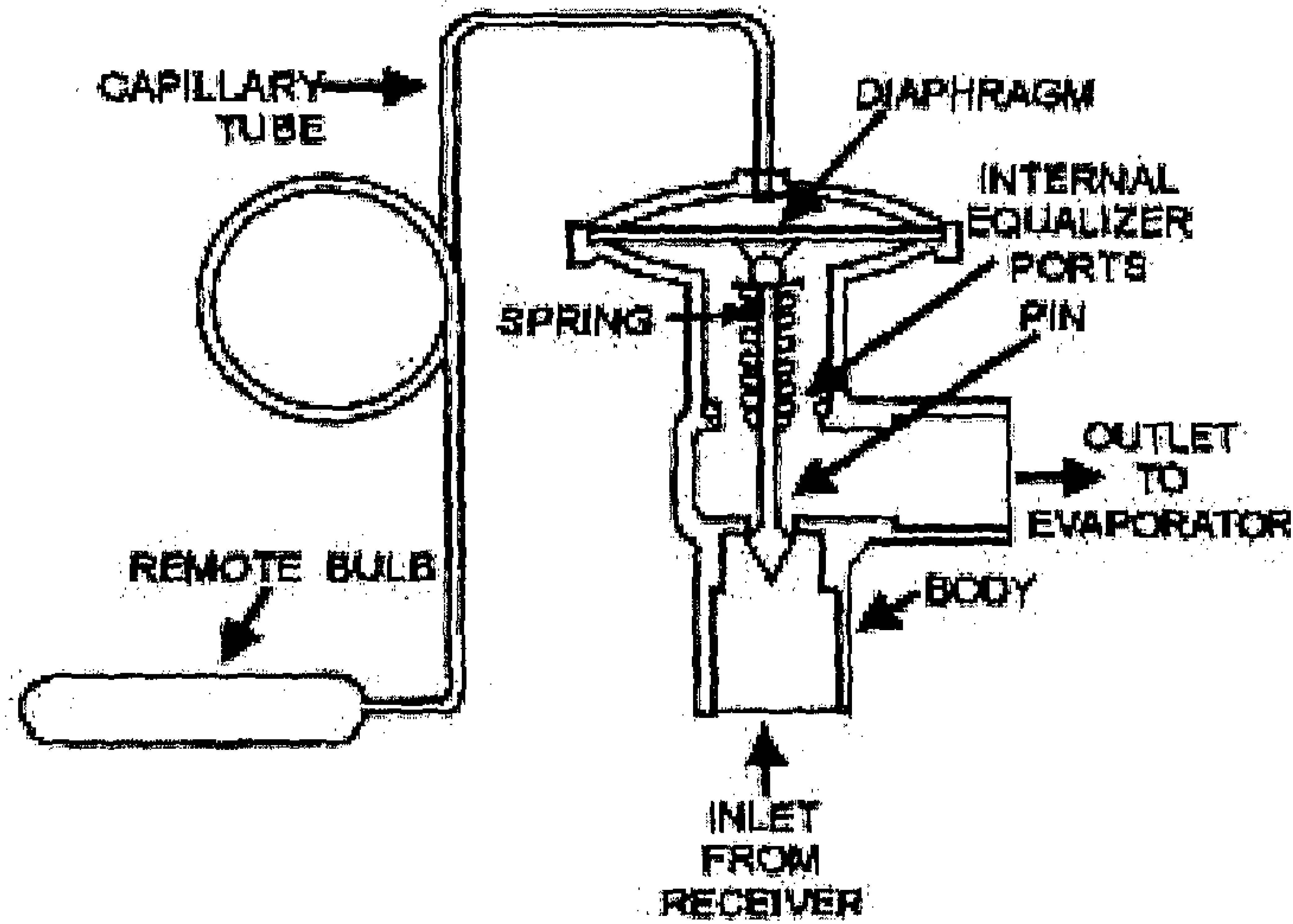
ارتفاع الحمل الحراري يقابله انخفاض في معدل سريان وسيط التبريد وهذا يتسبب في عطش المبخر (Starving). كذلك انخفاض الحمل يصاحبه ارتفاع في معدل سريان وسيط التبريد وهذا يتسبب في طفح المبخر (Flooding) وكلاهما له تأثير سلبي. سبق شرح مفهوم عطش وطفح المبخر عند الحديث عن الأنبوبة الشعرية. الجدير بالذكر أنه عند انخفاض الحمل الحراري فأنه لن يصل الأمر إلى أن يتسبب طفح المبخر في وصول السائل إلى الضاغط إذا كانت منظومة التبريد مصممة بطريقة مناسبة، وذلك لأن انخفاض الحمل الحراري يعني انخفاض درجة حرارة المكان المبرد، وحينئذ فإن الثرموستات سوف يوقف الضاغط قبل أن يصل الطفح في المبخر إلى حالة حرجة.

عند توقف الضاغط يغلق الصمام بشكل كلي وهذا لا يعطي مجال لتعادل الضغوط أثناء توقف الضاغط وبذلك يحتاج الضاغط إلى محرك ذو عزم بدأ عالي (high starting torque motor) والذي يعني زيادة في التكلفة. والسبب في أن الصمام يغلق بشكل كلي عند توقف الضاغط هو أن عملية التبخير في المبخر تستمر بعد توقف الضاغط وبذلك يرتفع ضغط التبخير (P_e) إلى قيمة أكبر من ضغط الزنبرك (P_s) فيغلق الصمام.

(١,١,٣) صمام التمدد الثيرموستاتي Thermostatic Expansion (TEV)

الأجزاء الرئيسة: كما يظهر بعضها في الشكل رقم (١,٩):

- إبرة Needle.
- قاعدة Seat وذراع pin.
- منفاخ (Bellows) أو غشاء (Diaphragm).
- بصلية (Bulb) وأنبوب رفيع ينقل تأثير البصلية إلى الغشاء أو المنفاخ capillary tube.
- زنبرك قابل للضبط (Adjusting Spring).
- مسمار ضبط (Adjusting screw).
- مصفاة (Strainer).



الشكل رقم (١,٩). الأجزاء الرئيسية لصمام التمدد الثيرموستاتي (ref. 2).

وظيفة صمام التمدد الثيرموستاتي وكيف يؤديها:

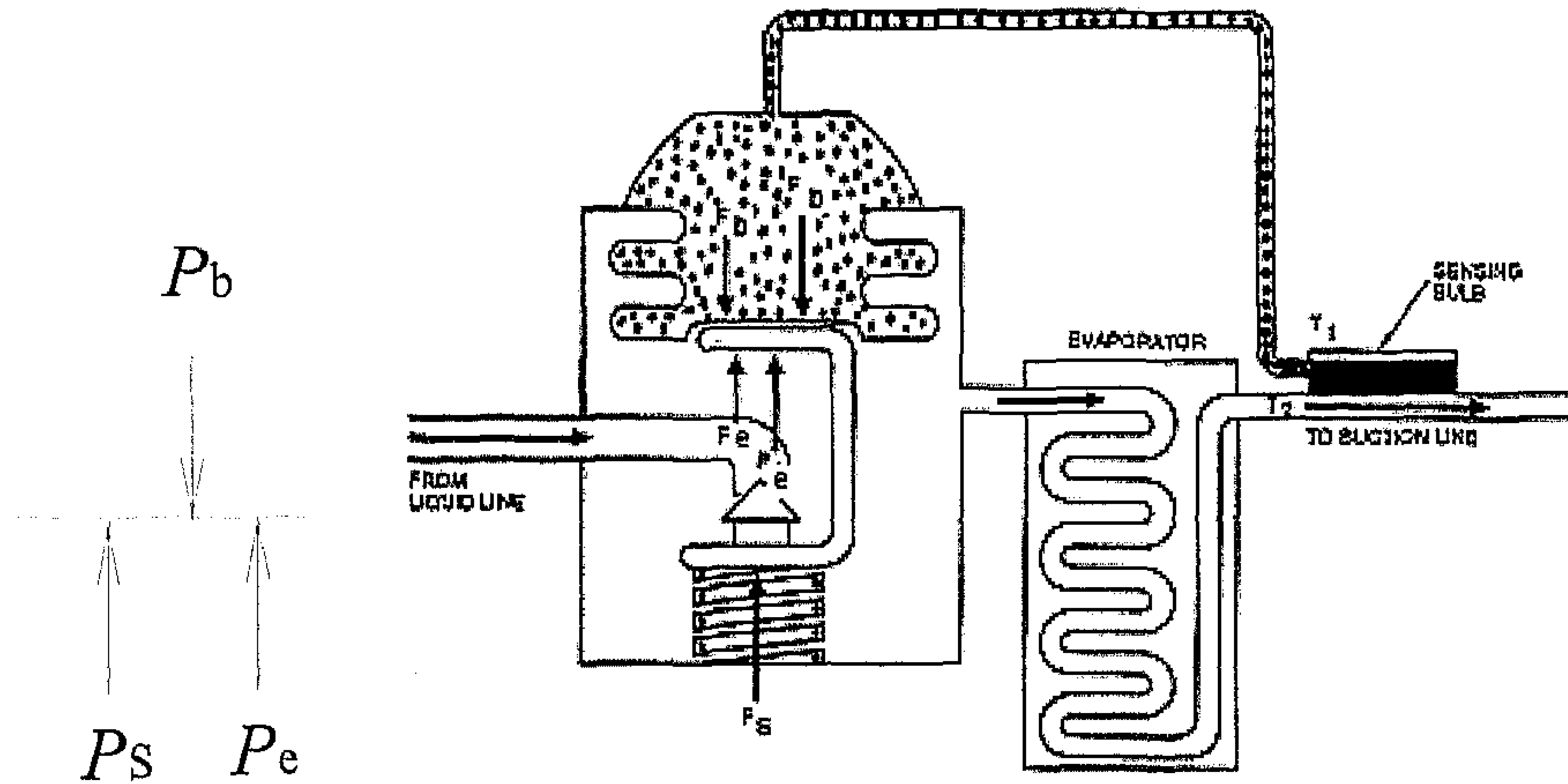
قد يفهم من مسمى هذا الصمام على أنه يحافظ على درجة حرارة المبخر ثابتة لكن وظيفته هي الحفاظ على مقدار تحميص ثابت عند موضع البصيلة، لذلك يسميه بعض خبراء التبريد صمام التحكم بالتحميص (a superheat-controlled valve).

الشكل رقم (١,١٠) يوضح القوي المؤثرة على TEV :

١- قوة ناشئة من ضغط المبخر (P_e) وتؤثر على الغشاء من الأسفل وتعمل على غلق الصمام.

٢- قوة ناشئة من الزنبرك (P_s) وتؤثر على الغشاء من الأسفل وتعمل على غلق الصمام.

٣- قوة ناشئة من ضغط البخار المتولد في البصيلة (P_b) وتؤثر على الغشاء من الأعلى وتعمل على فتح الصمام.



الشكل رقم (١,١٠). القوى المؤثرة على صمام التمدد الثيرموستاتي.

يكون الصمام في حالة اتزان إذا كان

$$P_b = P_e + P_s$$

وتعني حالة الاتزان أن معدل سريان وسيط التبريد الداخل للمبخر تساوي معدل سريان وسيط التبريد الخارج منه. P_e تتأثر بدرجة حرارة التبخير (T_e) و P_b تتأثر بدرجة الحرارة عند البصيلة (T_b). كلاً من T_e و T_b تتأثر بتغير الحمل الحراري ولكن T_b تتأثر بشكل أكبر، لذا فإنه عند زيادة الحمل الحراري يصبح :

$$P_b > P_e + P_s$$

فيتحرك الصمام في اتجاه الفتح ويزيد معدل السريان وعند انخفاض الحمل الحراري يصبح:

$$P_b < P_e + P_s$$

فيتحرك الصمام في اتجاه الإغلاق ويقل معدل السريان.

مثال (١,٦): كيفية استجابة صمام التمدد الثيرموستاتي للتغير في الحمل

نفرض أن مبخراً يستخدم وسيط تبريد R-134a يعمل عند درجة حرارة تبخير -2 °C و بمقدار تحميص 6 °C حيث يتعرض لهواء (حمل حراري) درجة حرارته مثلاً 5 °C نفرض أن وسيط التبريد عند دخوله للمبخر يكون له معامل جفاف x = 0.15 مثلاً. يبدأ وسيط التبريد بامتصاص الطاقة الحرارية من الهواء عند T_e= - 2 °C ويتحول تدريجياً إلى بخار أثناء مروره في المبخر فتزداد نسبة البخار وتقل نسبة السائل (تزداد قيمة x) إلى أن يتبخر جميع السائل وتصبح x=1. هذه العملية موضحة في الشكل رقم (١,١١أ) حيث نلاحظ أن القوي المؤثرة على TEV في وضع اتزان، حيث إن P_s=65.53 kPa .

إذا زاد الحمل الحراري على المبخر بارتفاع درجة حرارة الهواء إلى 10 °C مثلاً كماهو موضح في الشكل رقم (١,١١ ب) هذا يجعل وسيط التبريد يمتص طاقة حرارية

أكبر، وبذلك يكون معدل تبخره عند مروره خلال المبخر أسرع فيتحول جميع السائل إلى بخار في مساحة أقل. هذا يؤدي إلى زيادة مقدار التحميص فتصبح درجة الحرارة عند موضع البصيلة أكبر.

وبذلك يكون

$$P_b > P_e + P_s$$

وهذا يتسبب في عدم اتزان القوى ونتيجة لذلك تتحرك إبرة الصمام في اتجاه الفتح فيزداد معدل سريان وسيط التبريد.

زيادة معدل سريان وسيط التبريد تجعل السائل يتبخر في مساحة أكبر، فيقل مقدار التحميص. تستمر زيادة معدل وسيط التبريد وانخفاض مقدار التحميص إلى أن تصل القوى إلى حالة اتزان جديدة تتلاءم مع الحمل الحراري الجديد.

مقدار التحميص في وضع الاتزان الجديد يكون مقارب جداً لوضع الاتزان القديم الشكل رقم (١,١١جـ). يوضح هذه العملية والوضع الجديد لاتزان القوي.

ويمكن حساب مقدار التحميص (ΔT_{sup}) الجديد كما يأتي :

$$\Delta T_{sup} = T_b - T_e$$

من الشكل رقم (١,١١جـ) نجد أن درجة حرارة التبخير $T_e = 2\ ^oC$

عند اتزان القوي يكون

$$P_b = P_s + P_e$$

من الشكل رقم (١,١١جـ) نجد أن

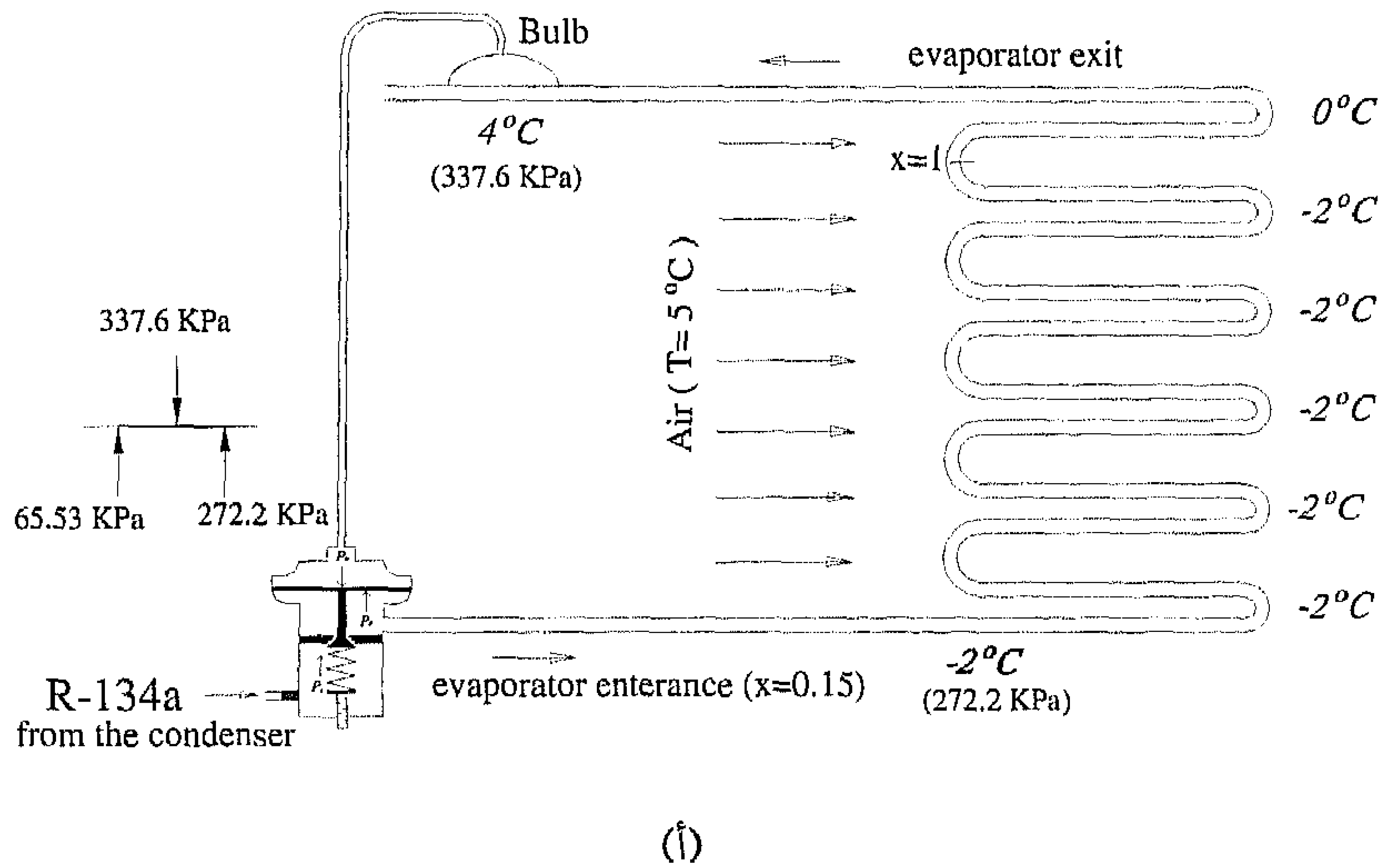
$$P_b = 65.53+314.6 = 380.13 \text{ kPa}$$

باستخدام خريطة P-h لوسيط تبريد R-134a عند ضغط تشبع 380.13 kPa نجد أن $T_b=7.43\ ^oC$

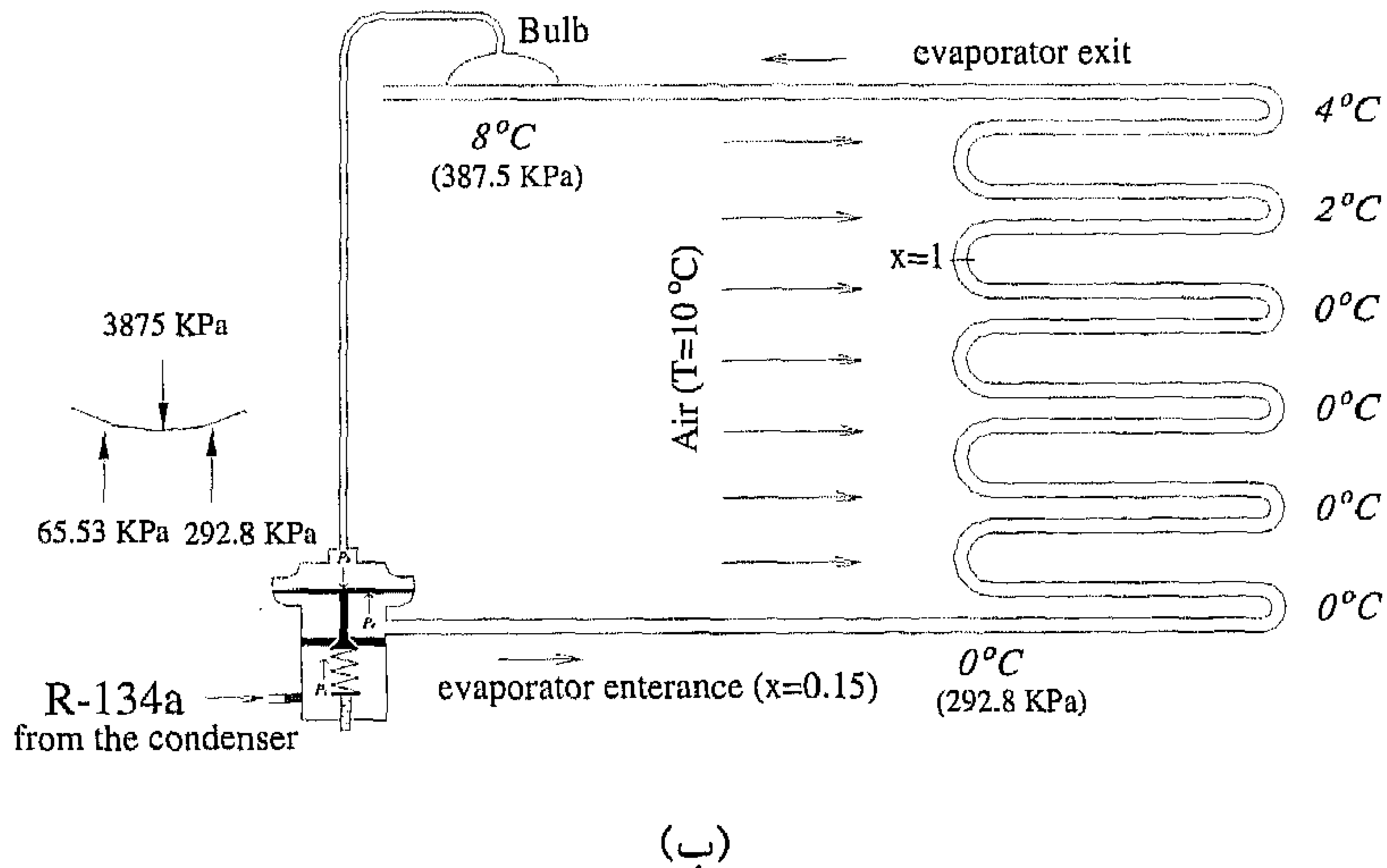
وبذلك يكون مقدار التحميص

$$\Delta T_{sup} = T_b - T_e = 7.43-2 = 5.43\ ^oC$$

في الحالة المعاكسة، إذا انخفض الحمل الحراري على المبخر فسيحدث عملية مشابهه لما سبق شرحه، وسيحصل اتزان جديد مقدار التحميص في وضع الاتزان الجديد يكون مقارباً لوضع الاتزان القديم. سوف يترك تفاصيل ذلك للقارئ تمارينا في نهاية الفصل.

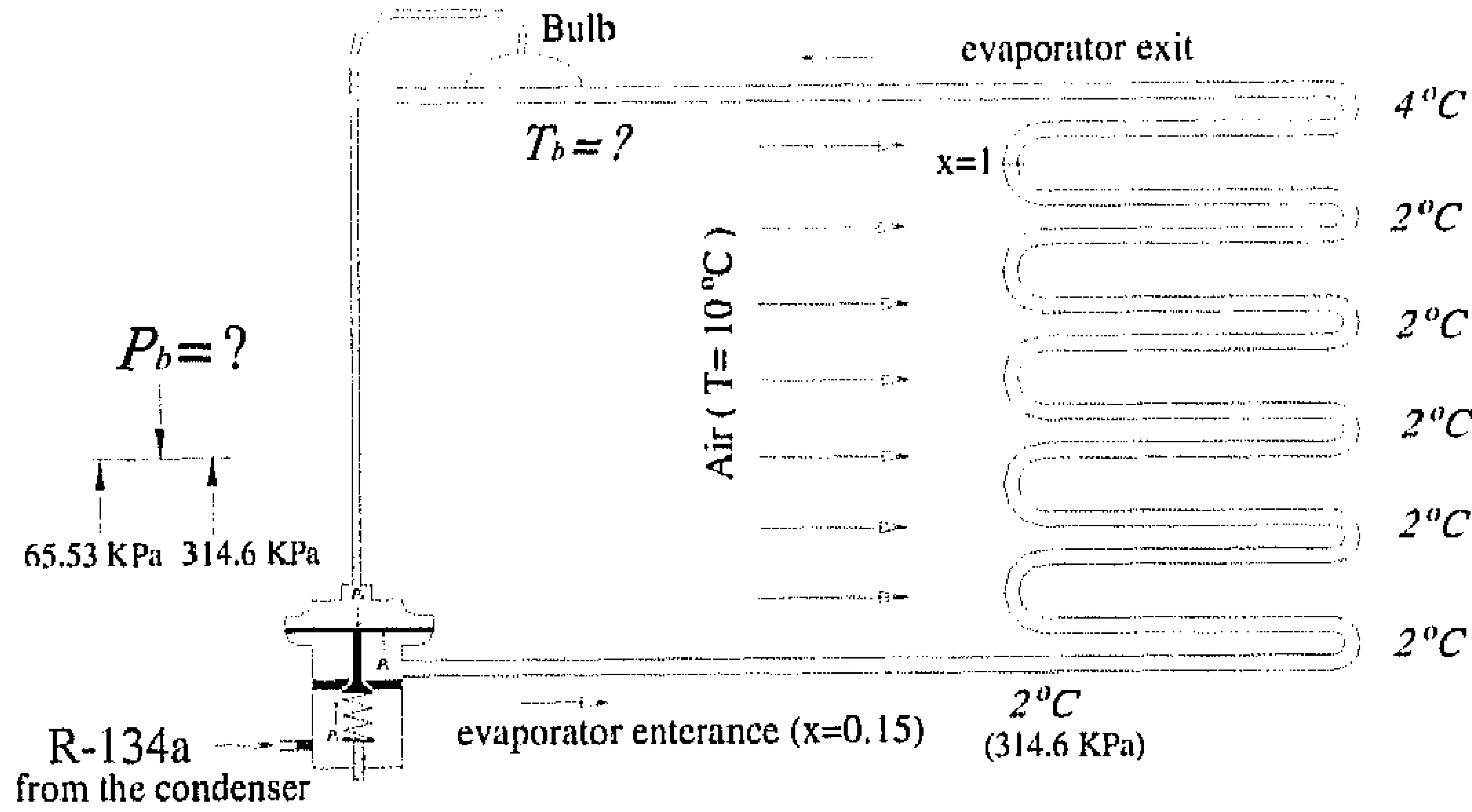


(أ)



(ب)

الشكل رقم (١,١١). كيفية استجابة صمام التمدد الثيرموستاتي للزيادة في الحمل الحراري.



(جـ)

تابع الشكل رقم (١١,١).

مثال (١,٧): كيفية حساب قوة الزنبرك بمعرفة مقدار التحميص.

ما هو ضغط الزمبرك لصمام التمدد الثرموستاتي التقليدي (بدون معادل خارجي) للحصول على مقدار تحميص 10 °C لمبخر يستخدم وسيط تبريد R-134a حيث إن درجة حرارته عند مدخل المبخر -5 °C.

الحل:

عند اتزان القوى على الصمام يصبح :

$$P_b = P_s + P_e$$

وبذلك يكون ضغط الزنبرك

$$P_s = P_b - P_e$$

الحصول على P_e:

حيث إن T_b = -5 °C

من خريطة p-h لوسيط التبريد R-134a عند درجة الحرارة -5 °C نحصل على

$$P_e = 2.4 \text{ bar}$$

الحصول على P_b :

بما أن مقدار التحميص

$$\Delta T_b = T_b - T_e$$

وبذلك تكون درجة الحرارة عند موضع البصيلة

$$T_b = \Delta T_b + T_e$$

من معطيات المسألة : $\Delta T_b = 10\ ^oC$ و $T_e = -5\ ^oC$ $\therefore$

$$T_b = 10+(-5) = 5\ ^oC$$

من الشكل رقم (١,١١ جـ) عند درجة حرارة $5\ ^oC$ نحصل على $P_b = 3.5$ bar

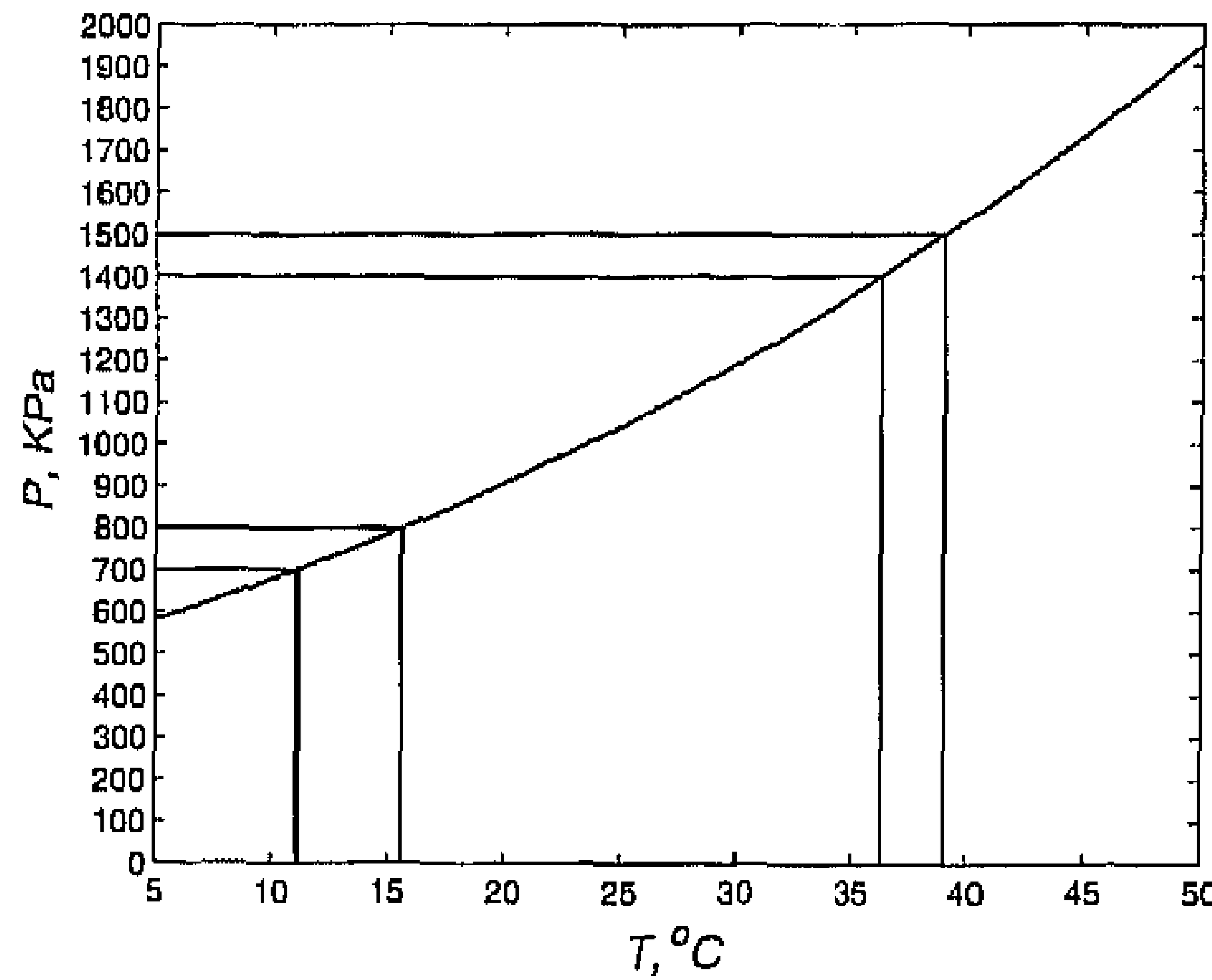
وبذلك يكون ضغط الزنبرك

$$P_s = P_b - P_e$$
$$P_s = 3.5 - 2.4 = 1.1 \text{ bar}$$

علاقة مقدار التحميص بدرجة الحرارة:

هنا يجدر الإشارة إلى أنه على الرغم من أن TEV يُعرّف على أنه يحافظ على مقدار التحميص ثابت مع تغير الحمل إلا أنه عند تغير الحمل الحراري وحصول اتزان جديد، يكون مقدار التحميص في هذا الاتزان الجديد مقارباً للتحميص في الاتزان السابق، ولكن لا يكون نفسه كما تبين من المثال السابق والسبب في ذلك أن العلاقة بين درجة الحرارة والضغط غير خطية، حيث إن العلاقة بين درجة الحرارة والضغط تصبح أكثر تسطحاً عند درجات الحرارة المنخفضة مما يعني أنه يتطلب لكي يستجيب الصمام للتغير في الحمل مقدار تحميص أكبر وهذا يكون على حساب السعة التبريدية للمبخر حيث إن المساحة الفعالة للمبخر تكون أقل لذلك يتطلب للحصول على نفس مقدار الفرق في الضغط $(P_b - P_e)$ فرق درجات حرارة مختلفة (مقدار تحميص مختلف) مثلا الشكل رقم (١,١٢) يبين أنه عند درجات منخفضة نحتاج إلى فارق درجات حرارة أكبر للحصول على نفس فرق الضغط (100 kPa) عند درجات الحرارة العالية.

هذا لا يمثل مشكلة لصمام التمدد الثيرموستاتي أثناء عملية التشغيل ؛ لأن تغير الأحمال الحرارية لا يؤدي إلى فروقات كبيرة في درجات الحرارة.



الشكل رقم (١,١٢). العلاقة بين درجة الحرارة والضغط.

كلما كان مقدار التحميص أقل كلما كانت الاستفادة من مساحة المبخر أكبر، ولكن عادةً يكون مقدار التحميص في حدود 6 °C. اختيار مقدار تحميص أقل من ذلك مثلا 3 °C بحيث يكون مقدار التحميص 0 °C عندما يكون الصمام مقفلاً بشكل كلي و 3 °C عندما يكون الصمام مفتوح بشكل كلي ممكن أن يتسبب في حالة انخفاض الحمل أن يصل سائل وسيط التبريد إلى خط السحب قبل أن يتحرك الصمام في اتجاه الغلق ولذلك يجب الإبقاء على مقدار تحميص حتى في حالة الإقفال الكلي للصمام.

أيضاً مقدار التحميص الصغير يجعل استجابة الصمام للتغير في الأحمال محدودة فيحد من استخدام الصمام في الظروف التي يكون فيها التغير في الحمل كبير.

بعض الظروف الغير مناسبة لاستخدام صمام التمدد الثيرموستاتي:

نظراً لأنه عند درجات الحرارة المنخفضة نحتاج إلى فروقات أكبر في درجات الحرارة للحصول على نفس الضغوط عند درجات الحرارة العالية - كما بينا سابقاً- مما يتطلب مقدار تحميص أكبر فإن المبخر يعمل بكفاءة أقل في ظروف التصميم لدرجات

الحرارة المنخفضة حيث إن مساحة المبخر الفعالة تكون أقل، وبذلك تصبح السعة التبريدية أقل مما يجعل بعض الخبراء في التبريد لا ينصحون باستخدام صمام التمدد الثيرموستاتي في المبخرات التي تعمل عند درجة حرارة منخفضة.

أيضاً عند بدء التشغيل للضاغط بعد توقف طويل تصبح درجة الحرارة في خط السحب بعيدة عن ظروف التشغيل للمبخرات التي تعمل عند درجة حرارة منخفضة، وبذلك يكون التحميص كبيراً مما يجعل الصمام يفتح بشكل كلي وبذلك يكون التحميل على الضاغط أثناء بدء التشغيل عالياً.

لا ينصح أيضاً بعض خبراء التبريد أن يستخدم صمام التمدد الثرموستاتي في التطبيقات التي يكون فيها الفرق بين درجة حرارة دخول الهواء ودرجة حرارة التبخير أقل من 6 °C ؛ لأن التفاوت الذي يحتاجه صمام التمدد الثرموستاتي حتى يتحرك من وضع الغلق الكلي إلى وضع الفتح الكلي حوالي 6 °C ؛ وبذلك فلن يكون هناك تفاوت كافي يسمح للصمام بالوصول إلى الفتح الكلي.

أيضاً لا ينصح بعض خبراء التبريد أن يستخدم صمام التمدد الثرموستاتي مع أنظمة التبريد التي تستخدم الأمونيا، حيث يكون معدل سريان وسيط التبريد منخفضاً نظراً لأن الأمونيا لها حرارة كامنة عالية مقارنة بوسائط التبريد الأخرى (انظر الجدول رقم ١,٢) وهذا يعني أن أي تغير طفيف في فتحة الصمام قد تؤدي إلى تغير كبير نسبياً في معدل السريان، وينتج عدم الاستجابة المناسبة للتغير في الحمل.

الجدول رقم (١,٢). الحرارة الكامنة لبعض وسائط التبريد.

Refrigerant وسيط التبريد	Enthalpy of vaporization (KJ/kg)الحرارة الكامنة
R718 (Water)	2261
R717 (Ammonia)	1369
R744 (Carbon dioxide)	571.5
R12	165.7
R22	234.7
R134a	197.3

السبب الآخر من عدم استخدام صمام التمدد الثرموستاتي عندما يكون وسيط التبريد الأمونيا هو أن الصمام يصبح أبطأ في الاستجابة للتغير في الحمل وأقل دقة ؛ لأن إحساس البصيلة بدرجة حرارة وسيط التبريد في خط السحب يكون أقل دقة ويحتاج إلى وقت أطول، وذلك لأن أنابيب نظام التبريد تصنع في حالة استخدام الأمونيا من الحديد الصلب (steel) بدلاً من النحاس حيث إن الموصلية الحرارية للحديد الصلب أصغر بكثير من النحاس.

مقارنة صمام التمدد الثيرموستاتي بصمام التمدد الأوتماتيكي:

بمقارنة صمام التمدد الثيرموستاتي مع صمام التمدد الأوتماتيكي نجد أن الأخير يقابل ارتفاع الحمل الحراري بخفض لمعدل سريان وسيط التبريد، وهذا يسبب عطش في المبخر (Starving). كذلك انخفاض الحمل يصاحبه ارتفاع في معدل سريان وسيط التبريد، وهذا يسبب طفحاً في المبخر (Flooding) وكلاهما له تأثير سلبي. سبق شرح مفهوم عطش وطفح المبخر عند الحديث عن الأنبوبة الشعرية. بينما صمام التمدد الثيرموستاتي يتميز بأنه يضمن الاستجابة المناسبة للتغير في الحمل الحراري حيث إن ارتفاع الحمل الحراري يقابله زيادة في معدل السريان، وانخفاضه يقابله انخفاض في معدل سريان وسيط التبريد. وبذلك فإن صمام التمدد الثيرموستاتي يوفر الاستفادة الأمثل من المبخر.

(٤,١,١) صمام التمدد الثيرموستاتي المعادل خارجياً

Thermostatic Expansion valve with External Equalizer

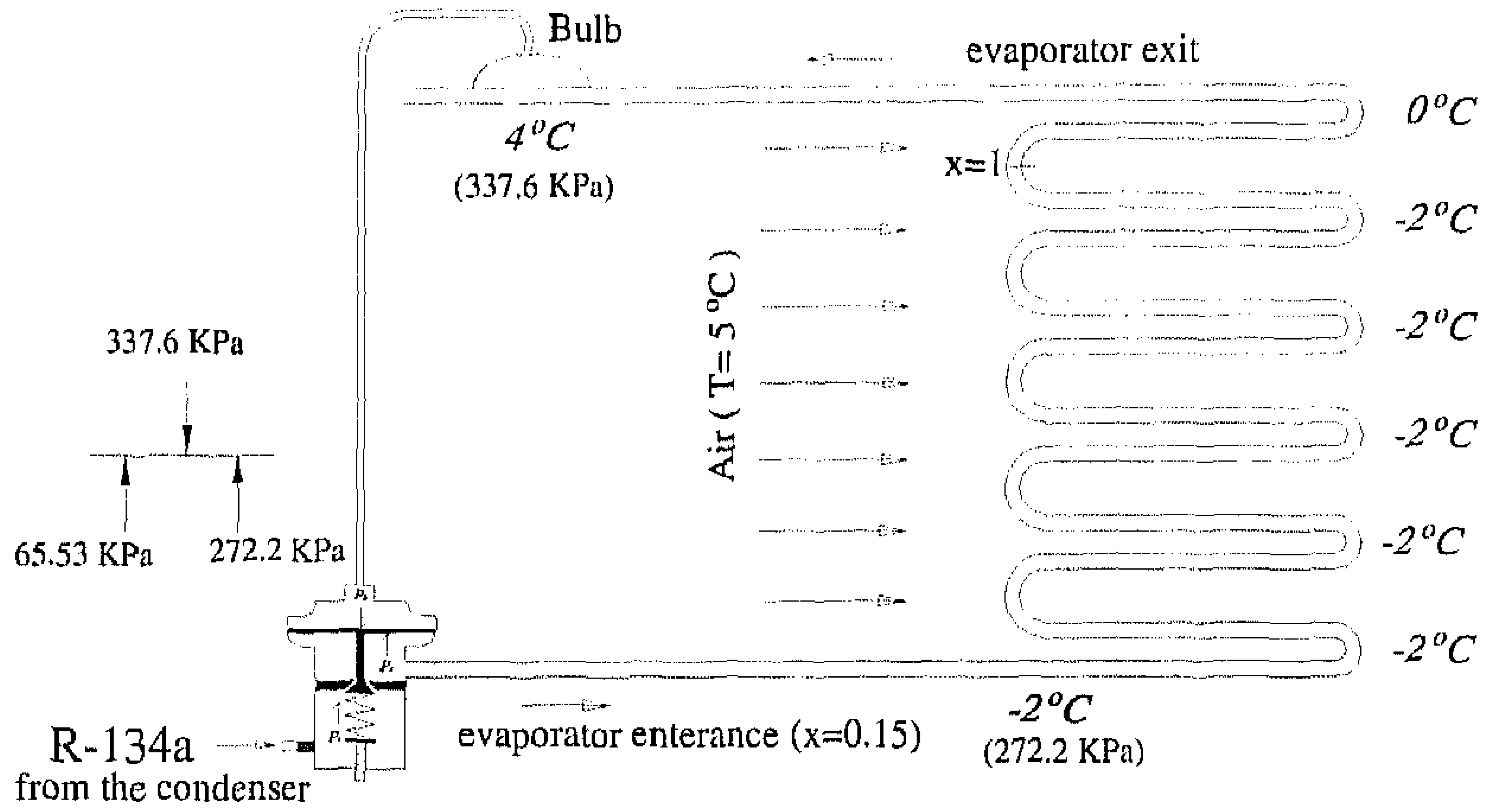
نحتاج صمام التمدد الثيرموستاتي المعادل خارجياً إذا كان هناك هبوط في الضغط في المبخر. هذا الهبوط في الضغط ممكن أن يحدث بسبب الاحتكاك أثناء مرور وسيط التبريد في المبخر. كذلك إذا كان المبخر يحتوي على موزع (distributor). وجود الموزع يسبب عادةً هبوط في الضغط بمقدار 1 bar .

أيضاً يستخدم صمام التمدد الثيرموستاتي المعادل خارجياً في المبخرات الصغيرة (compact evaporators). عادةً يكون الهبوط في الضغط في هذه المبخرات بالمقدار المقابل لـ 2 K.

الهبوط في الضغط يجعل درجة حرارة التبخير وكذلك درجة الحرارة عند البصيلة تكون أقل منها في حالة عدم وجود هبوط في الضغط، فتكون القوة المتولدة في البصيلة (P_b) أقل من القوى التي تعمل في اتجاه الغلق (P_s+P_e)، وهذا يجعل الصمام يبحث عن حالة اتزان جديدة في اتجاه الغلق عن طريق خفض معدل سريان وسيط التبريد. وبالتالي يحصل الاتزان من جديد عند مقدار تحميص أكبر ومعدل سريان أقل منه في حالة عدم وجود هبوط في الضغط وبذلك يحدث تعطيش للمبخر وهذا يؤدي إلى أن الصمام لا يلبي حاجة الحمل الحراري. المثال الآتي يوضح هذه الظاهرة وحلها.

مثال (١,٨): ظاهرة الانخفاض في الضغط في المبخر وحلها.

الشكل رقم (١,١٣) يوضح مبخراً يستخدم وسيط تبريد R-134a درجة تبخيره -2 °C يتعرض لهواء درجة حرارته 5 °C يعمل عند تحميص مقداره 6 °C والقوي المؤثرة على TEV في وضع اتزان، حيث إن $P_s = 65.53$ kPa . عند دخول وسيط التبريد المبخر يكون في حالة سائلة تقريباً (x = 0.15 مثلاً) فيبدأ بامتصاص الطاقة والحرارة من الهواء عند $T_e = -2$ °C ويتحول تدريجياً أثناء مروره في المبخر إلى غاز؛ لأنه لا يوجد هبوط في الضغط فيستمر وسيط التبريد في التبخر عند $T_e = -2$ °C إلى أن يتحول جميع السائل إلى غاز (x = 1).



الشكل رقم (١,١٣). استجابة صمام التمدد الثيرموستاتي مع عدم وجود انخفاض في الضغط في المبخر.

الشكل رقم (١,١٤) يوضح نفس المبخر عند نفس ظروف التشغيل في حالة وجود هبوط في الضغط في المبخر مقداره 0.5 bar. نلاحظ أن درجة حرارة التبخير تقل مع مرور وسيط التبريد في المبخر وعندما يتحول جميع السائل إلى غاز يكون ضغط التبخير عند نهاية المبخر ($P_{e'}$).

$$P_{e'} = P_{sat}(T_e = -2\ ^{o}C) - \Delta P_{drop}$$

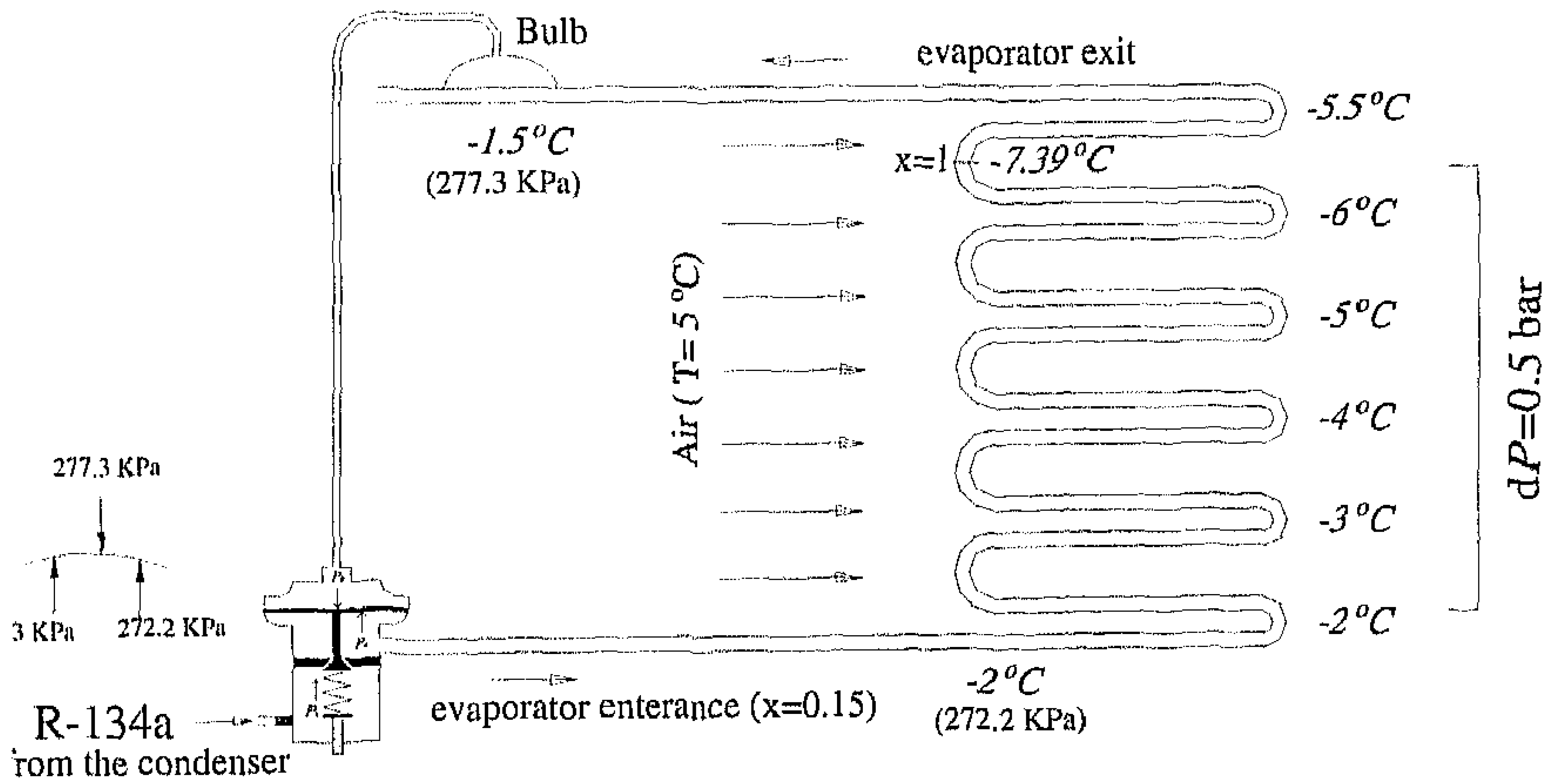
وبما أن ضغط التشبع المقابل لـ -2 °C هو 272.2 kPa ومقدار الهبوط في الضغط 0.5 bar فأن ضغط التشبع عند نهاية المبخر هو 222.2 kPa ، وعليه فإن درجة حرارة التبخير عند نهاية المبخر -7.39 °C (درجة حرارة التشبع المقابلة لـ 222.2 kPa لوسيط التبريد R-134a) وهذا يجعل درجة الحرارة عند البصيلة أقل من 4 °C مثلاً -1.5 °C كما في الشكل رقم (١,١٤).

ضغط التشبع المقابل لـ T_b = -1.5 °C هو P_b = 277.3 kPa وينتج من ذلك عدم اتزان القوى حيث إن القوة المتولدة في البصيلة (P_b = 277.3 kPa) أقل من مجموع القوي

المضادة ($P_e + P_s = 272.2 + 65.53 = 337.7$) ولذلك تتحرك إبرة الصمام في اتجاه الغلق للبحث عن اتزان جديد ويحدث ذلك عندما تكون $P_b = 337.7$ kPa اي عندما تكون درجة الحرارة عند البصيلة $T_b = 4$ °C وبذلك يكون مقدار التحميص

$$\Delta T_{sup} = T_b - T_e$$
$$\Delta T_{sup} = 4 - (-7.39) = 11.39\ ^{\circ}C$$

وهذا يعني أن مقدار التحميص زاد بمقدار 5.39 °C عن قيمة التصميم (6 °C) وبالتالي أصبح معدل السريان أقل من المطلوب لتلبية حاجة الحمل الحراري وبالتالي تحدث عملية تجويع للمبخر.

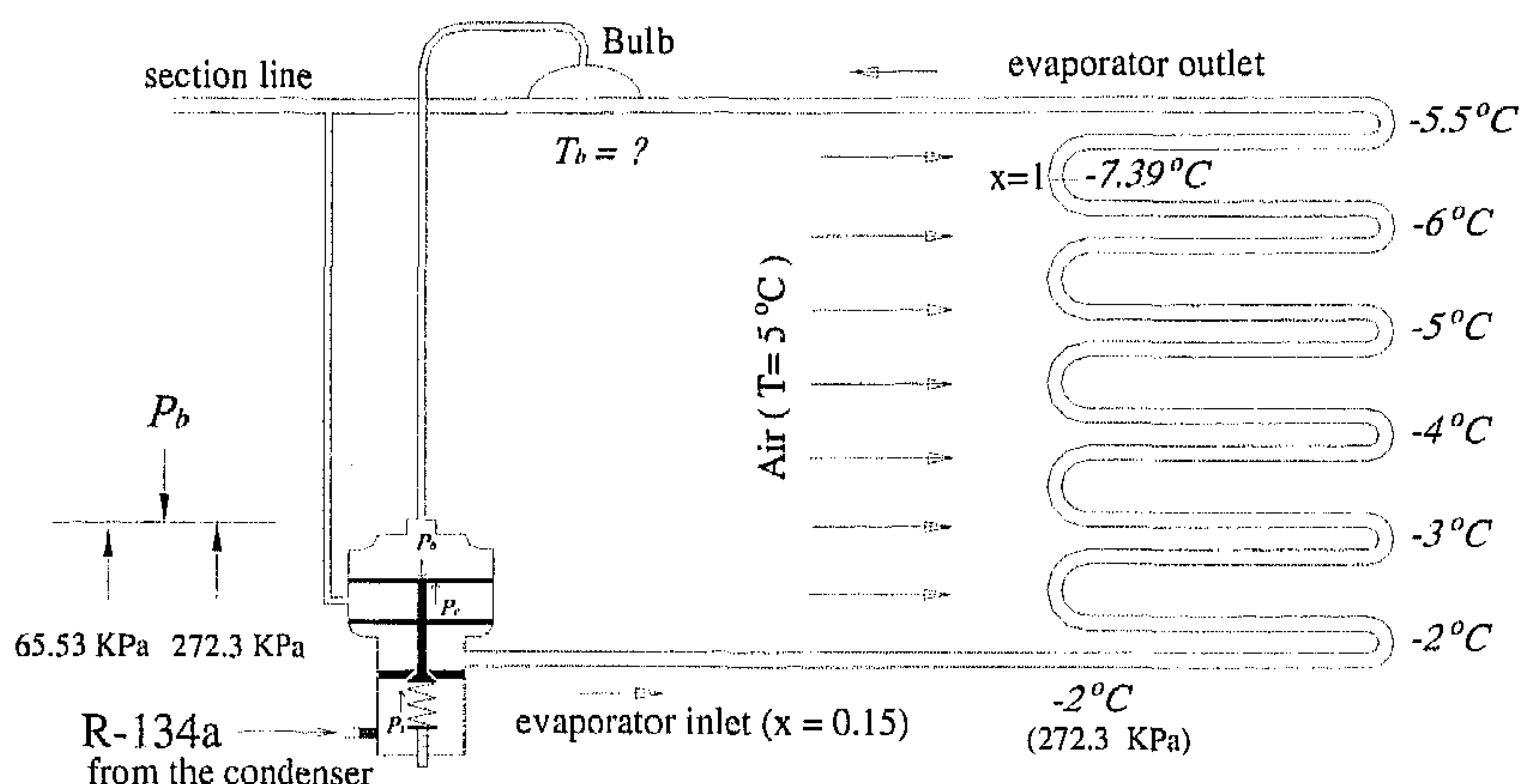


الشكل رقم (١,١٤). استجابة صمام التمدد الثيرموستاتي عند وجود انخفاض في الضغط في المبخر.

لحل هذه المشكلة وإعادة مقدار التحميص إلى وضعه السابق يجب أن تقل القوة المؤثرة في اتجاه الغلق وهذا يتم بإعادة النظر في القوي المؤثر على الصمام. طريقة ضبط الزنبرك للحصول على قوة أقل ممكنه في حالة أن الانخفاض في الضغط أقل بكثير من ضغط الزنبرك. طريقة أخرى تتمثل في استبدال القوة الناشئة من ضغط التبخير عند

مدخل المبخر بقوة أخرى تكون أقل بشرط أن تتأثر بالتغير في الحمل الحراري حتى يتمكن للصمام من تنظيم معدل سريان وسيط التبريد مع تغير الحمل الحراري.

صمام التمدد الثيرموستاتي المعادل خارجياً يستبدل تأثير الضغط عند مدخل المبخر بتأثير الضغط عند نهاية المبخر عن طريق أنبوب يصل مخرج المبخر بالمنطقة تحت غشاء الصمام التي تكون معزولة عن مدخل المبخر كما هو موضح في الشكل رقم (١,١٥).



الشكل رقم (١,١٥). استجابة صمام التمدد الثيرموستاتي المعادل خارجياً عند وجود انخفاض في الضغط في المبخر.

يكون صمام التمدد الثيرموستاتي المعادل خارجياً حلاً مناسبا إذا كان يحافظ على نفس مقدار التحميص في حالة عدم وجود هبوط في الضغط.

يحسب مقدار التحميص في حالة استخدام صمام التمدد الثيرموستاتي المعادل خارجياً كما يأتي:

الضغط عند نهاية المبخر ($P_{e'}$)

$$P_{e'} = P_e - \Delta P_{drop}$$

حيث P_e ضغط التبخير عند مدخل المبخر و ΔP_{drop} الهبوط في الضغط في المبخر.

في هذا المثال درجة الحرارة عند مدخل المبخر ‎-2 °C‎ وذلك يكون ضغط التشبع

ΔP_{drop}= 0.5 bar و P_e = 272.2 kPa

$P_{e'}$ = 272.2 - 50 = 222.2 kpa

وبذلك تكون درجة حرارة التبخير عند نهاية المبخر $T_{e'}$ = -7.39 °C

يحصل الاتزان في صمام التمدد الثيرموستاتي المعادل خارجياً عندما يكون

$$P_b = P_s + P_{e'}$$

فيكون الضغط عند البصيلة

P_b= 65.53 + 222.2 = 287.73 kPa

ومنه تكون درجة الحرارة عند البصيلة T_b = -0.5 °C

وبذلك يكون مقدار التحميص

$$\Delta T_{sup} = T_b - T_{e'}$$

ΔT_{sup} = -0.5- (-7.39) = 6.89 °C

أي أن مقدار التحميص مقارب جداً لقيمة التصميم في حالة عدم وجود هبوط في الضغط ، وبذلك يكون صمام التمدد الثيرموستاتي المعادل خارجياً هو الحل المناسب في حالة وجود هبوط في الضغط في المبخر.

مثال (١,٩): مقارنة مقدار التحميص في حالة استخدام صمام التمدد الثيرموستاتي التقليدي وصمام التمدد الثيرموستاتي المزود بمعادل خارجي.

احسب مقدار التحميص لمبخر به وسيط تبريد R-134a درجة حرارته عند مدخل المبخر ‎-5 °C‎ و يوجد انخفاض في الضغط في المبخر مقداره 0.8 bar ويستخدم

صمام تمدد ثيرموستاتي ضغط زنبركه 0.6 bar مع الاستعانة بالشكل في الملحق (c) إذا كان وسيلة التمدد :

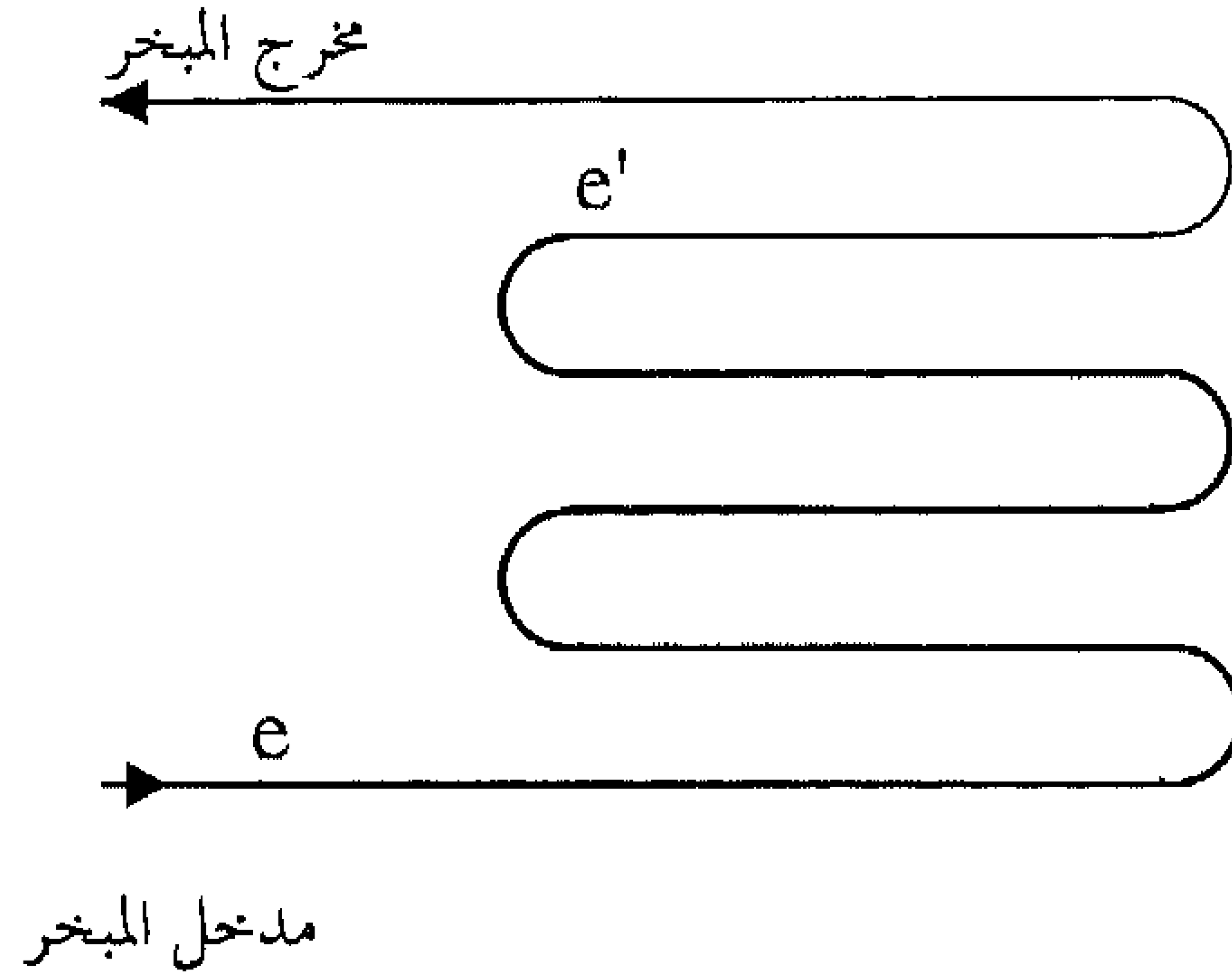
- صمام التمدد الثيرموستاتي التقليدي (بدون معادل خارجي).
- صمام التمدد الثيرموستاتي المزود بمعادل خارجي.

الحل:

يمكن حساب مقدار التحميص من :

$$\Delta T_{sup} = T_b - T_{e'}$$

حيث إن T_b درجة الحرارة عند البصيلة و $T_{e'}$ درجة الحرارة عند تبخر آخر نقطة سائل كما هو موضح في الشكل الآتي :



الحصول على $T_{e'}$:

درجة الحرارة عند مدخل المبخر $T_e = -5\ ^{o}C$

من الشكل (1–C) يكون ضغط التشبع $P_e = 2.4$ bar

ومع وجود الهبوط في الضغط 0.8 bar يكون الضغط عند النقطة e'

$$P_{e'} = P_e - \Delta P_{drop}$$
$$P_{e'} = 2.4 - 0.8 = 1.6 \text{ bar}$$

من الشكل رقم (1–C) عند ضغط 1.6 bar نحصل على $T_{e'} = -15\ ^{o}C$

الحصول على T_b:في حالة صمام التمدد الثيرموستاتي التقليدي

عند اتزان القوى على الصمام يصبح :

$$P_b = P_s + P_e$$
$$P_b = 0.6 + 2.4 = 3 \text{ bar}$$

من الشكل رقم (1-C) عند ضغط 2.2 bar نحصل على $T_b = 1\ ^{o}C$

وبذلك يكون مقدار التحميص :

$$\Delta T_{sup} = T_b - T_{e'}$$
$$\Delta T_b = 1-(-15) = 16\ ^{o}C$$

الحصول على T_b: في حالة صمام التمدد الثيرموستاتي المعادل خارجياً

عند اتزان القوى على الصمام يصبح :

$$P_b = P_s + P_{e'}$$
$$P_b = 0.6 + 1.6 = 2.2 \text{ bar}$$

من الشكل (1-C) عند ضغط 2.2 bar نحصل على $T_b = -7\ ^{o}C$

وبذلك يكون مقدار التحميص :

$$\Delta T_{sup} = T_b - T_{e'}$$
$$\Delta T_b = -7- (-15) = 8\ ^{o}C$$

وبذلك نستنتج أن استخدام صمام التمدد الثيرموستاتي المعادل خارجياً يضمن وجود تحميص أقل من صمام التمدد المعادل داخلياً في حالة وجود هبوط في الضغط بين مدخل ومخرج المبخر.

(١,١,٥) البصيلة The Bulb

أنواع شحنة البصيلة:

الشحنة داخل البصيلة ممكن أن تكون إحدى الأنواع الآتية :

١- الشحنة السائلة Full-bulb charge: وتكون من نفس وسيط التبريد المستخدم في دورة التبريد وسميت شحنة سائلة لأن البصيلة تكون كبيرة نسبياً بحيث إن

الشحنة تحت جميع ظروف التشغيل لا تتبخر كلياً وفي جميع الأوقات يوجد سائل في البصيلة.

٢- الشحنة المحددة Limited-bulb charge : حجم البصيلة يكون صغيراً نسبياً ، وبذلك تكون كمية الشحنة محدودة وممكن أن تتبخر كلياً عند درجات حرارة معينة.

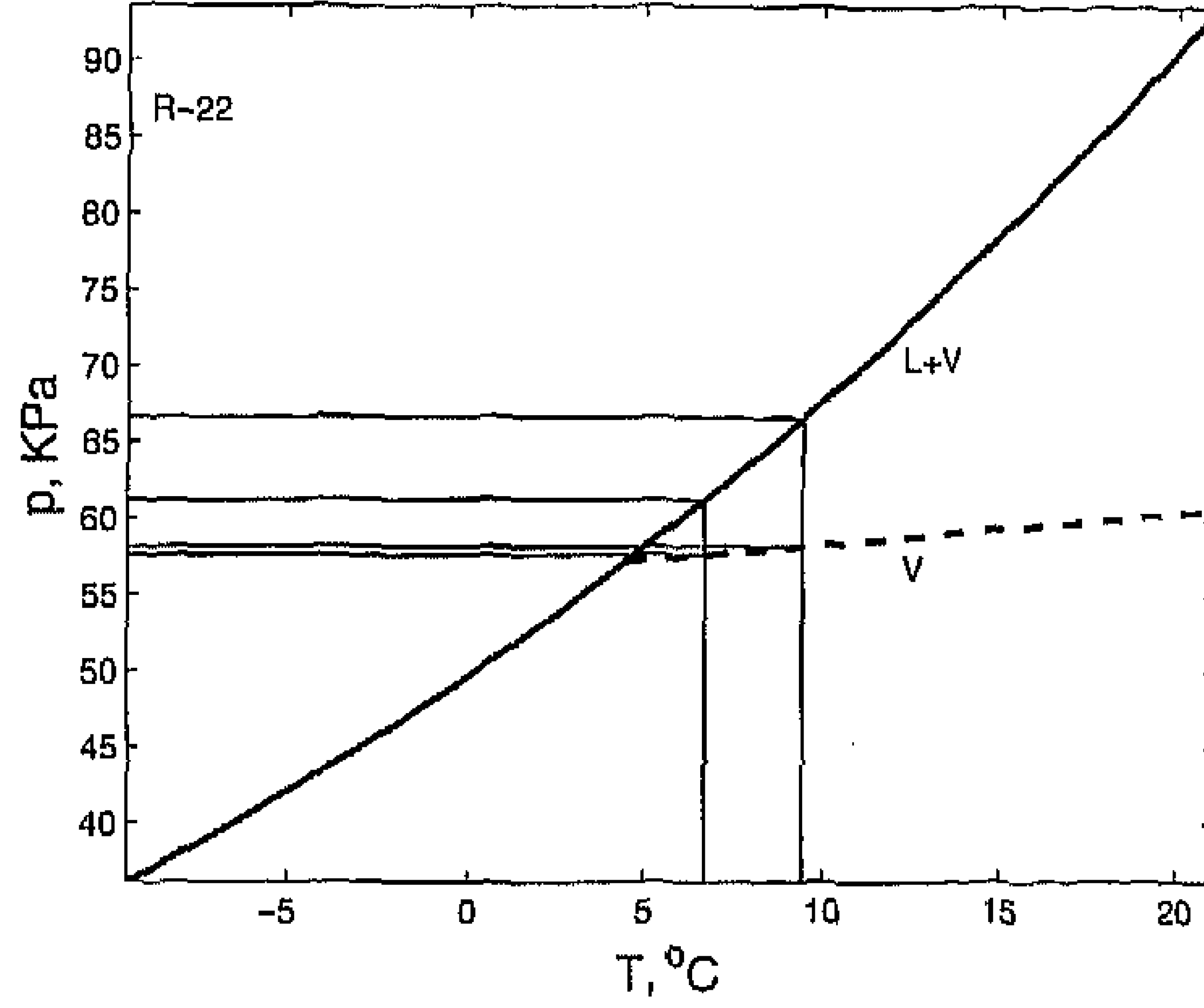
٣- الشحنة السائلة المخالفة Cross-Full-bulb charge : تكون من وسيط تبريد مخالف لوسيط التبريد الموجود في دورة التبريد وفي جميع الأوقات يوجد سائل في البصيلة كالشحنة السائلة.

٤- الشحنة المحددة المخالفة Cross-Limited-bulb charge : تكون من وسيط تبريد مخالف لوسيط التبريد الموجود في دورة التبريد، وكمية السائل تكون محدودة ويمكن أن يتحول جميع السائل الموجود في البصيلة إلى بخار عند درجات حرارة محددة.

تتميز الشحنة المحددة والشحنة المحددة المخالفة بأن الضغط داخل البصيلة لا يزيد مع الزيادة في درجة الحرارة في خط السحب إذا تجاوزت درجة الحرارة في خط السحب عن قيمة معينة ، حيث إن الشحنة جميعها تحولت إلى غاز، وسبب ذلك أن الحجم النوعي للشحنة أصبح ثابت نوعا ما عندما تحولت الشحنة جميعها إلى غاز. درجة الحرارة أو الضغط التي عندها يتحول جميع السائل الموجود في البصيلة إلى بخار تسمى (Maximum operation pressure, MOP).

الشكل رقم (١.١٦) يوضح العلاقة بين درجة الحرارة والضغط للشحنة السائلة (L) والشحنة الغازية (v). نلاحظ أن الضغط يزيد بنفس المقدار في الحالتين طلما لا يزال هناك شحنة سائلة. ولكن عندما تحولت جميع الشحنة إلى غاز في الشحنة المحددة أصبح الضغط يتأثر بزيادة درجة الحرارة بشكل بسيط على خلاف الشحنة السائلة التي

تسبب زيادة كبيرة في الضغط عند ارتفاع درجة حرارة خط السحب لاستمرار تحول السائل إلى بخار.



الشكل رقم (١,١٦).العلاقة بين درجة الحرارة والضغط للشحنة السائلة (L) و الشحنة الغازية (v).

مع عدم زيادة الضغط داخل البصيلة (في الشحنة المحددة) عند درجات حرارة مرتفعة نسبياً نتجنب فتح الصمام وضخ مزيد من وسيط التبريد إلى المبخر، وهذا مهم في فترة إذابة الصقيع، وبعد انتهائها مباشرة، حيث إن زيادة درجة الحرارة في المبخر وخط السحب هي بسبب الحرارة الناتجة من السخان الكهربائي أثناء إذابة الصقيع، لذلك من المهم في هذه الفترة عدم ضخ وسيط تبريد حتى لا يصل إلى الضاغط. وهذا أيضاً يحمي الضاغط من زيادة التحميل عند بدء التشغيل من جديد ولذلك أيضاً تسمى النقطة التي يتحول جميع السائل الموجود في البصيلة إلى بخار Motor overload protection أي حماية ملف الضاغط من التحميل العالي.

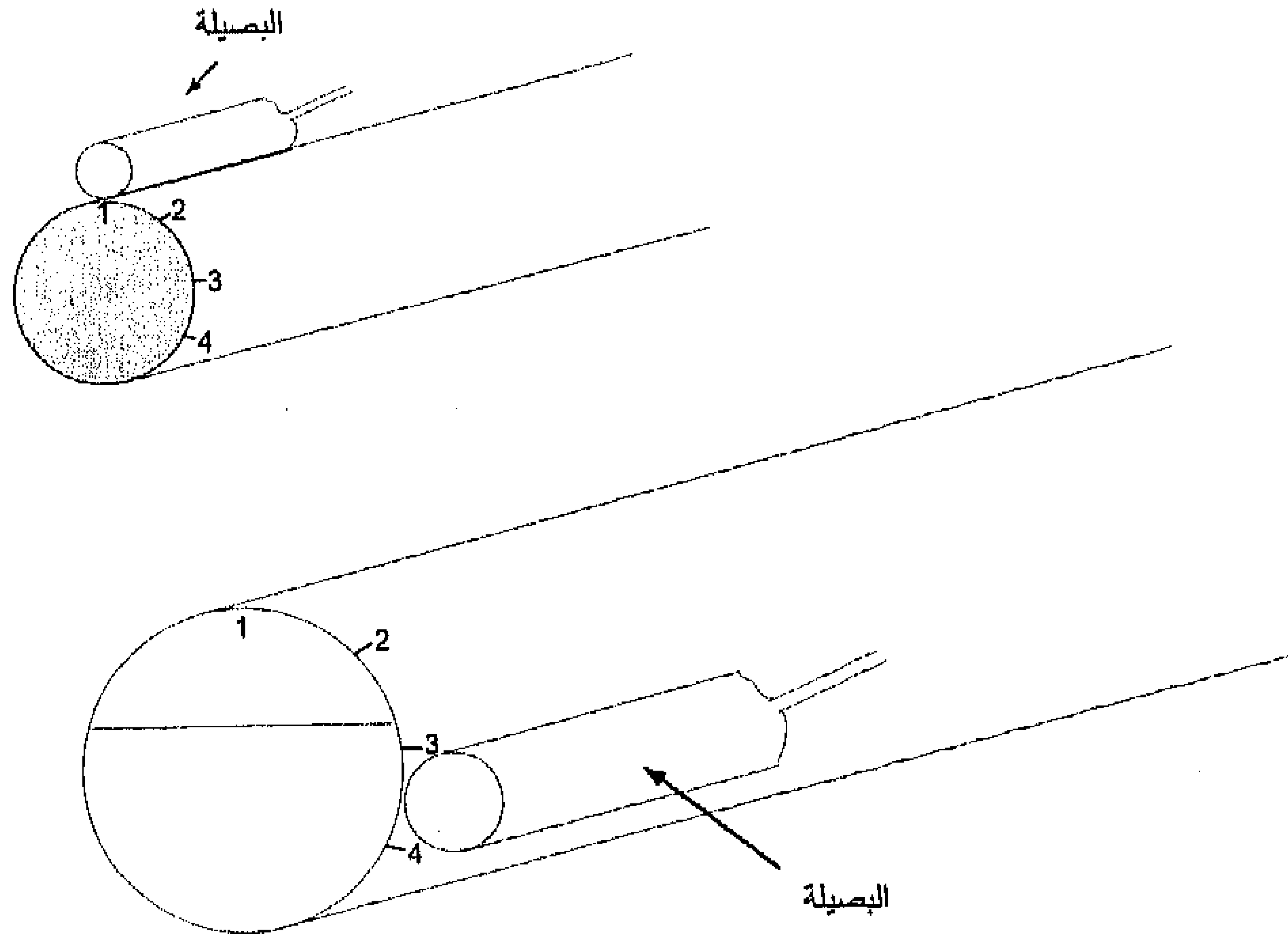
من جهة أخرى محدودية الشحنة في البصيلة ممكن أن تتحول إلى عيباً، حيث إن تحول جميع الشحنة إلى غاز يجعل من الممكن أن تتكثف هذه الشحنة بعيداً عن البصيلة، في الصمام مثلاً أو في الأنبوب الواصل بين الصمام والبصيلة إذ كان أبرد من البصيلة، وهذا يعطل عملية التحكم فيبطل وظيفة الصمام. لتجنب حدوث ذلك يجب أن يكون الصمام في مكان أدفئ من البصيلة ولا يسمح بأن يلمس الأنبوب الواصل بين الصمام والبصيلة جسم بارد. من الطرق أيضاً عند استخدام الشحنة المحددة و المحددة المخالفة وضع سخان كهربائي صغير على رأس الصمام لإبقاء الصمام أسخن من البصيلة، وبذلك لا تتكثف الشحنة بعيداً عن البصيلة.

كَلا الشحنة السائلة والسائلة المخالفة تضمن عدم تكثف الشحنة بعيداً عن البصيلة ولكن الشحنة السائلة المخالفة تتميز عن الشحنة السائلة بعدم زيادة الضغط داخل البصيلة بنسبة كبيرة، حيث يتم اختيار الشحنة في البصيلة بحيث تكون العلاقة بين درجة الحرارة والضغط أكثر تسطحاً من تلك لوسيط التبريد المستخدم في نظام التبريد. وهذا يكون مفيدا لمنع عدم انفتاح الصمام بشكل كبير عند ارتفاع درجة خط السحب في فترة إذابة الصقيع أو عند تشغيل الضاغط بعد توقف طويل نسبياً، حيث إن مقدار الفرق في الضغط (P_b-P_e) يتطلب تقريبا نفس مقدار التحميص الذي يتم أثناء عملية تشغيل الضاغط. استخدام الشحنة المخالفة يكون ضروريا خصوصاً إذا كان المبخر يعمل عند درجات منخفضة، حيث إن الحصول على نفس المقدار من (P_b-P_e) يتطلب مقدار تحميص مختلف عند بدأ التشغيل.

طريقة تركيب البصيلة:

يتم تركيب البصيلة في خط السحب مباشرة بعد المبخر. ويجب أن يكون خط السحب الملامس للبصيلة في وضع أفقي.

تكون البصيلة في الجزء العلوي إذا كان قطر أنبوب خط السحب صغيراً وتركب بشكل مائل للأقطار الكبيرة كما في الشكل رقم (١,١٧) والسبب أنه في الأقطار الكبيرة قد لا يلامس وسيط التبريد الجزء العلوي للأنبوب، ومن ثم لا تمثل درجة الحرارة في البصيلة درجة حرارة وسيط التبريد. لكن لا يُنصح بتركيب البصيلة في الجزء السفلي للأنبوب لتلافي استقرار الزيوت والرطوبة، ومن ثم تشكل عزل وتؤدي إلى فرق كبير بين درجة الحرارة على سطح الأنبوب ودرجة وسيط التبريد داخل الأنبوب.



الشكل رقم (١,١٧). تركيب البصيلة على أنبوب خط السحب للأنابيب الصغيرة والكبيرة.

لأن البصيلة تتأثر بدرجة حرارة المكان فإنه من الضروري عند تركيب البصيلة الأخذ في الاعتبار أن تكون البصيلة في مكان له درجة حرارة مناسبة. يجب عزل البصيلة في حالة أن المكان له درجة حرارة عالية أو باردة نسبيا.

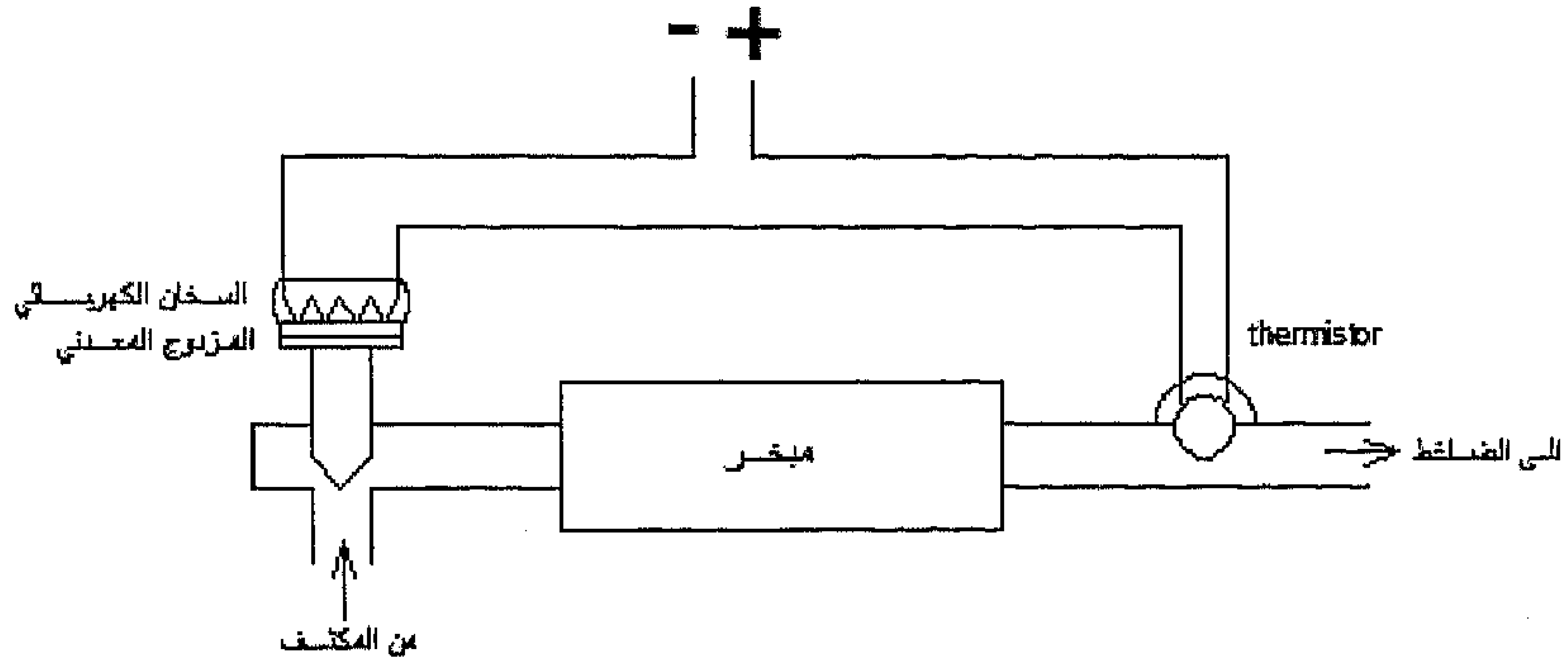
في حالة استخدام صمام ثيرموستاتي معادل خارجياً يجب أن تركب البصيلة قبل أنبوب المعادلة. كذلك في حالة وجود المبادل الحراري بين خط السائل والسحب أو صمام من أي نوع، يجب أن تكون البصيلة قبله وبعيدة عنه.

(١,١,٦) صمام التمدد الكهربائي الحراري

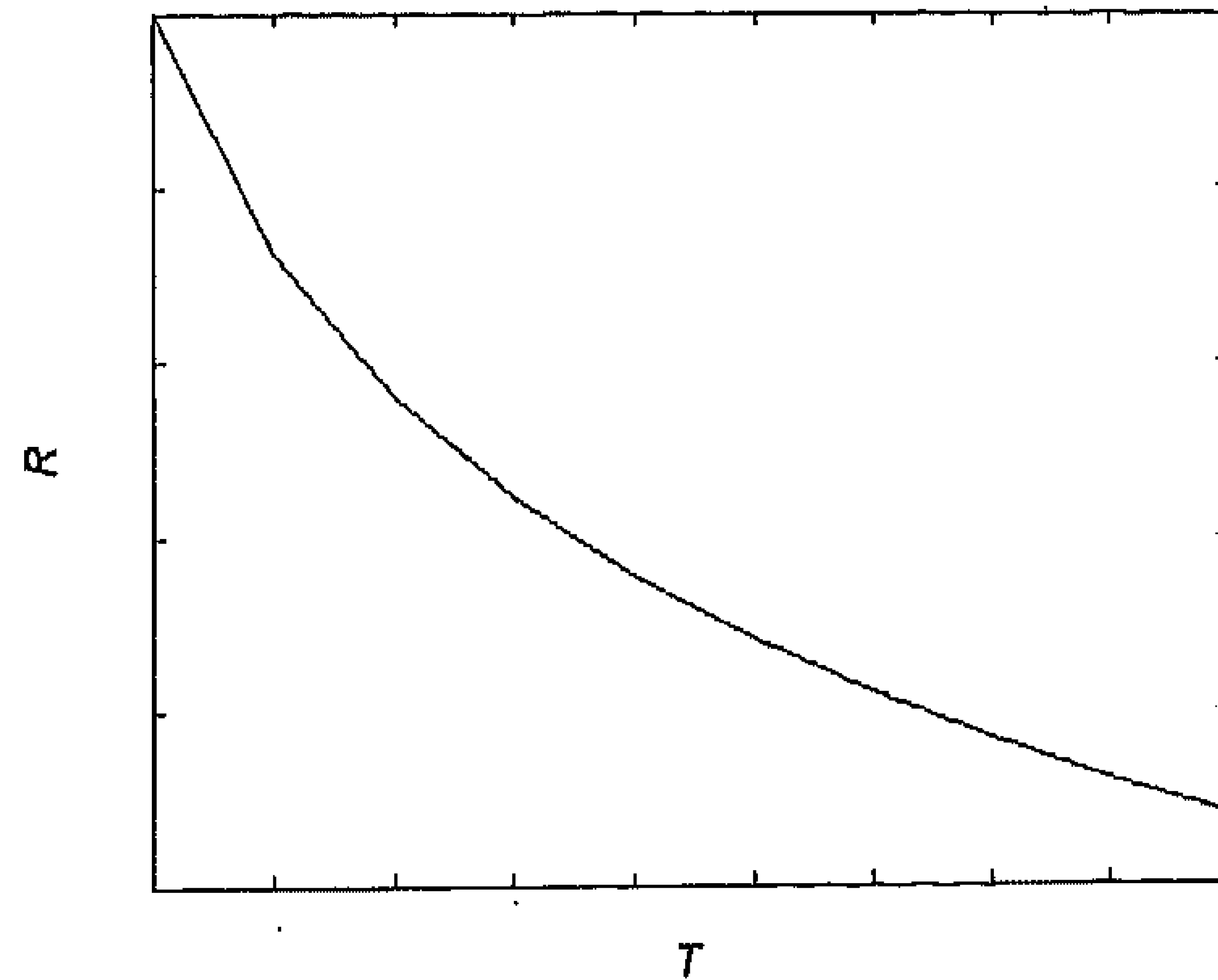
Solid state controlled expansion valve

للإحساس بدرجة حرارة وسيط التبريد في خط السحب، يُستخدم في صمام التمدد الكهربائي الحراري، بدلاً من البصيلة في صمام التمدد الثيرموستاتي، عنصر حاس مثلا الثيرموستر (thermistor) حيث يركب داخل خط السحب للإحساس بدرجة حرارة وسيط التبريد كما يوضح الشكل رقم (١,١٨). من خصائص هذا العنصر أن مقاومته الكهربائية (R) تنخفض بزيادة درجة الحرارة (T) كما هو موضح في الشكل رقم (١,١٩). يكون الصمام عبارة عن إبرة تفتح وتقفل بشكل تناسبي. يتحكم بالإبرة مزدوج معدني يتأثر بحرارة سخان كهربائي موصل على التوالي مع عنصر الثيرموستر. بانخفاض المقاومة الكهربائية لعنصر الثيرمستر نتيجة لإرتفاع درجة الحرارة في خط السحب يزداد مرور التيار الكهربائي بالسخان فينتج زيادة درجة حرارة المزدوج المعدني فيفتح الصمام و يزداد معدل السريان الداخل للمبخر. تستمر هذه الزيادة إلى أن يعود مقدار التحميص إلى نقطة التصميم.

يتميز صمام التمدد الكهربائي الحراري بأن استجابته أسرع للتغير في الحمل؛ نظرا لأن العنصر الحاس يكون داخل خط السحب ويلامس بصورة مباشرة وسيط التبريد. يتميز هذا الصمام أيضاً بأن نقل التغير من خط السحب إلى الصمام يكون أسرع؛ لأنه يتم بصورة كهربائية وليس ميكانيكياً كما في صمام التمدد الثيرموستاتي.



الشكل رقم (١,١٨). استخدام صمام التمدد الكهربائي الحراري لتنظيم سريان وسيط التبريد.



الشكل رقم (١,١٩). تغير المقاومة الكهربائية لعنصر thermistor مع درجة الحرارة.

(١,٢) صمامات التمدد في المبخرات المغمورة
Expansion Devices In Flooded-Evaporators

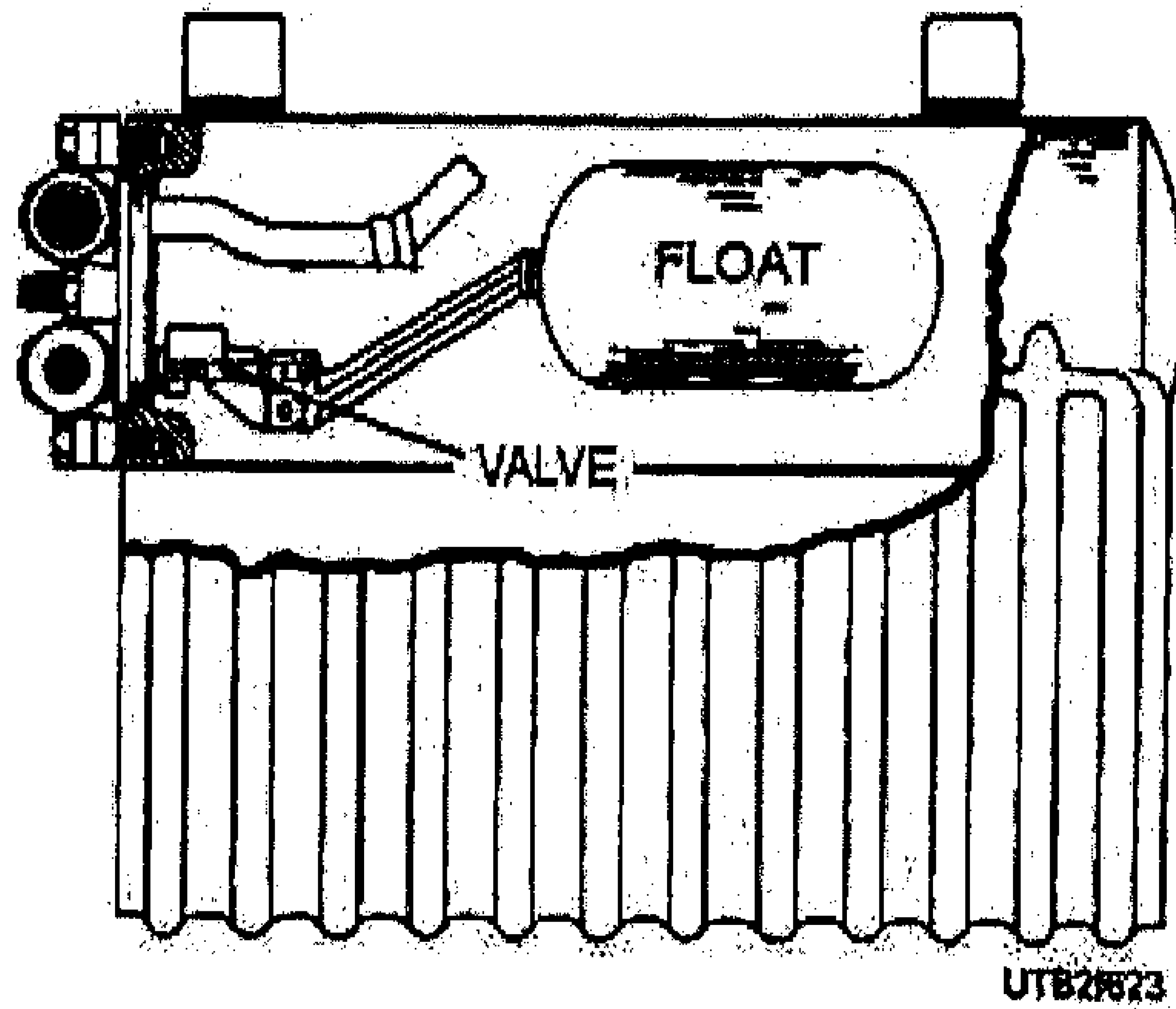
(١,٢,١) محبس عوامة الضغط المنخفض Low-side float valve

يعمل محبس عوامة الضغط المنخفض على المحافظة على مستوى سائل وسيط التبريد في المبخر عند مستوى ثابت بتنظيم السائل الداخل للمبخر. عند انخفاض مستوى السائل تعمل العوامة على زيادة معدل سائل وسيط التبريد الداخل للمبخر،

وعند ارتفاعه تعمل العوامة على خفض معدل سائل وسيط التبريد الداخل للمبخر وبذلك يستجيب للتغير في مستوى السائل ويكون مستوى السائل بحيث يغطي جميع سطح المبخر.

يكون محبس عوامة الضغط المنخفض من النوع المتصل (continuous) أو النوع المتقطع (intermittent). في النوع المتصل يكون التحكم تناسبياً أي أن المحبس يمرر سائل وسيط التبريد زيادة أو نقصاً على حسب التغير اللحظي لمستوى سائل وسيط التبريد في المبخر، أما النوع المتقطع فيستخدم التحكم ذا الموضعين (ON-OFF Positions) حيث يفتح كلياً عند انخفاض سائل وسيط التبريد في المبخر عن مستوى محدد ويغلق كلياً عند ارتفاع سائل وسيط التبريد في المبخر عن مستوى محدد. يركب محبس عوامة الضغط المنخفض أما في المبخر مباشرة كما في الشكل رقم (١,٢٠) أو في مجمع للسائل متصل بالمبخر كما في الشكل رقم (١,١ب) صفحة ٢.

بصورة عامة يستخدم محبس عوامة الضغط المنخفض في منظومة التبريد التي تستخدم الضواغط الترددية (Reciprocating compressors)



الشكل رقم (١,٢٠). مبخر مغمور مزود بمحبس عوامة الضغط المنخفض (ref. 8).

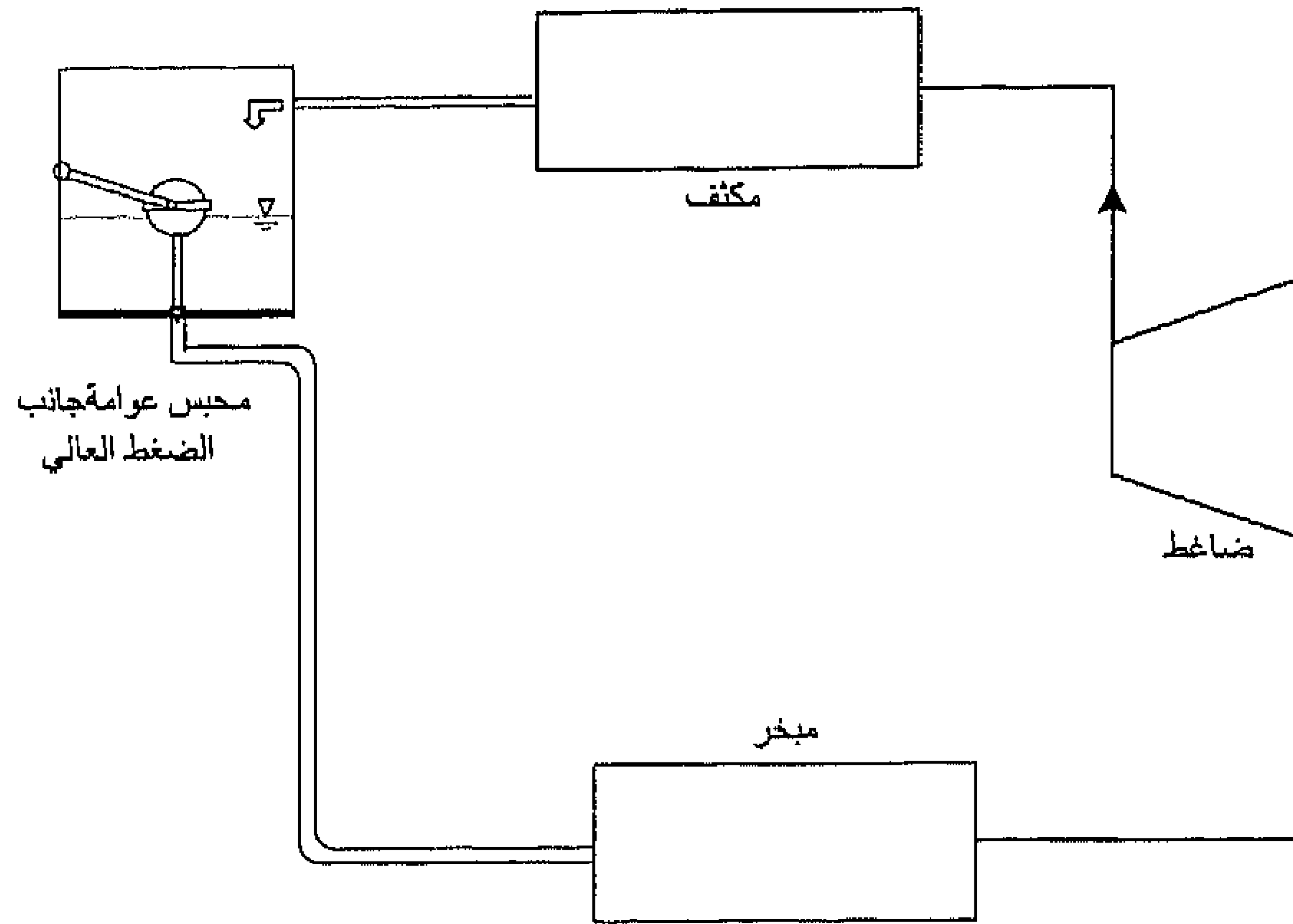
(١,٢,٢) محبس عوامة الضغط العالي High -side float valve

يعمل محبس عوامة الضغط العالي على المحافظة على مستوى سائل وسيط التبريد في خزان موجود في خط السائل كما هو موضح في الشكل رقم (١,٢١) بحيث يمرر سائل وسيط التبريد إلى المبخر بصورة أكبر عند ارتفاع مستوى سائل وسيط التبريد في الخزان و يمرر سائل وسيط التبريد بصورة أقل عند انخفاض مستوى السائل في الخزان.

محبس عوامة الضغط العالي يستجيب للتغير في الحمل الحراري في المبخر بطريقة غير مباشرة، حيث إن ارتفاع مستوى السائل في الخزان يكون نتيجة زيادة معدل تكثف وسيط التبريد في المكثف والذي يعني زيادة معدل التبخر نتيجة لزيادة الحمل على المبخر. وتكون الاستجابة المناسبة في هذه الحالة هي تغذية المبخر بمعدل أكبر.

انخفاض مستوى سائل وسيط التبريد في خزان السائل يكون نتيجة انخفاض معدل تكثف وسيط التبريد في المكثف والذي يكون نتيجة انخفاض معدل التبخر في المبخر نتيجة انخفاض الحمل الحراري. وتكون الاستجابة المناسبة في هذه الحالة تغذية المبخر بمعدل أقل.

بالإضافة إلى عمل محبس عوامة الضغط العالي على تنظيم مرور وسيط التبريد إلى المبخر حسب الحمل، يعمل أيضاً على خفض الضغط إلى مِركن اندفاع (Surge drum) ومنه إلى المبخر خلال أنبوب موصل من أسفل المركن إلى المبخر ويكون أعلى المركن متصلاً بالمبخر من الطرف الآخر حيث يتم خلاله سحب غاز وسيط التبريد إلى الضاغط. حتى يتم تجنب امتلاء المبخر لدرجة رجوعه مرة أخرى إلى المركن مع الطرف العلوي، يجب أن يمثل حجم مركن الاندفاع ٢٥٪ من حجم المبخر.



الشكل رقم (١,٢١). استخدام محبس عوامة الضغط العالي لتنظيم معدل سريان وسيط التبريد.

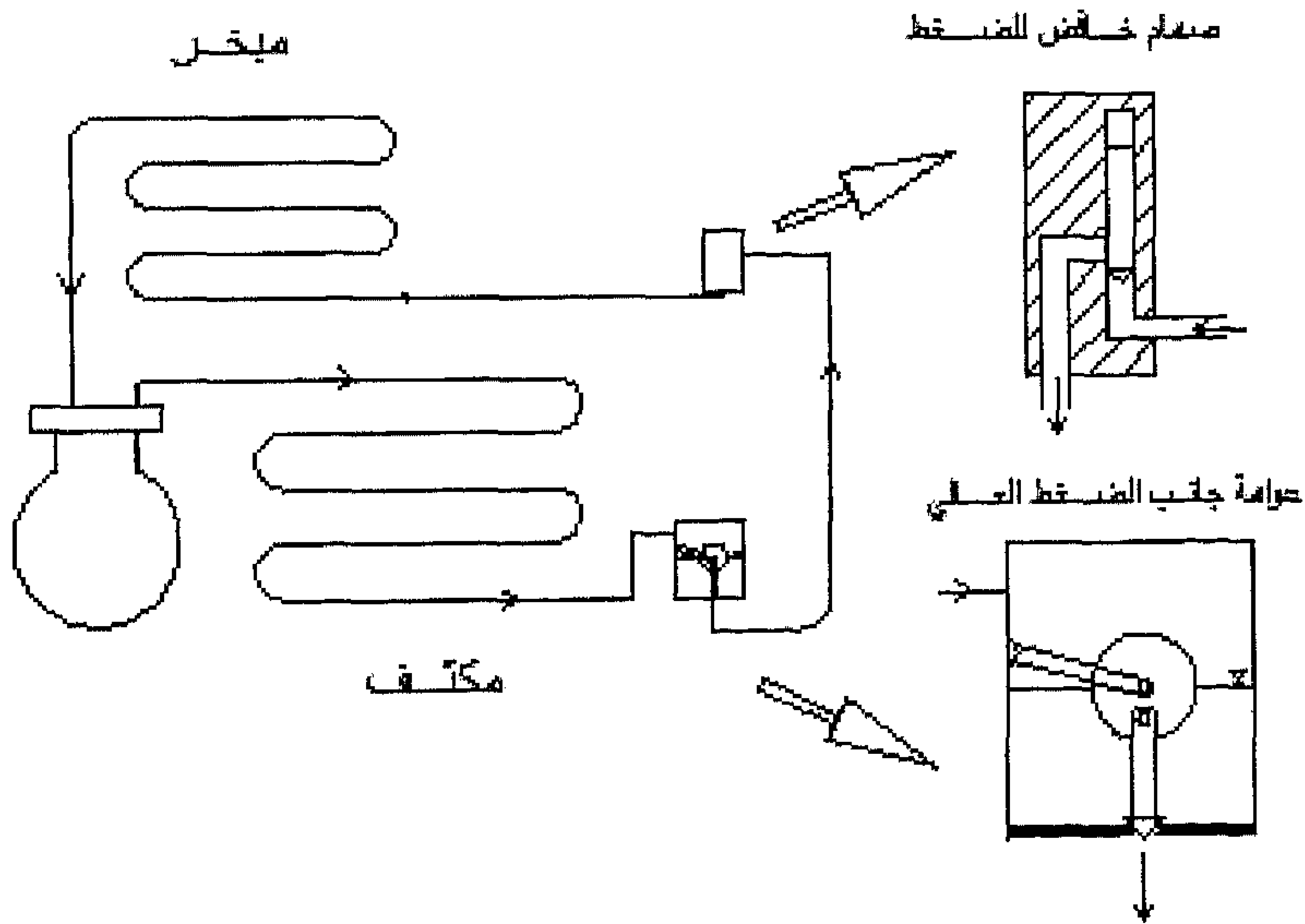
من الجدير بالذكر انه من الضروري عند استخدام محبس عوامة الضغط العالي أن تكون الشحنة في منظومة التبريد مضبوطة (متناسبة مع جحم المنظومة)؛ لأن زيادتها سوف تتسبب بطفح المبخر حيث إن المحبس سوف يزيد معدل تصريف السائل إلى المبخر حتى يحافظ على مستوى السائل في خزان سائل المحبس. أيضاً في حالة أن الشحنة غير كافية فان المحبس سوف يمرر شحنة أقل ممّا يجب حتى يحافظ على مستوى السائل في خزان السائل فيسبب تجويعاً للمبخر.

عند توقف الضاغط سوف يقل السائل الواصل إلى خزان المحبس وبذلك يقفل المحبس حتى يحافظ على مستوى السائل فيه.

لأن محبس عوامة الضغط العالي يسمح فقط بكمية سائل محدودة في جانب الضغط العالي فأن جل وسيط التبريد موجود في المبخر أثناء توقف دورة التبريد.

بما أن إبرة المحبس تعمل على خفض الضغط، فإذا كان المحبس بعيداً عن المبخر فإن ضغط سائل وسيط التبريد في طريقه إلى المبخر يقل، وبذلك قد يتبخر جزء منه ولذلك إذا كان المحبس بعيداً عن المبخر فانه من الضروري وجود صمام قريب للمبخر

يقوم بخفض الضغط بدلا من خفضه بعيداً عن المبخر وتكون مهمة محبس عوامة الضغط العالي تنظيم كمية السائل. هذه الطريقة أيضاً جعلت استخدام محبس عوامة الضغط العالي في المبخرات الجافة ممكناً كما هو موضح في الشكل رقم (١,٢٢) ولكن يكون التغير في الحمل صغيراً ؛ لأن ليس هنا مجال كبير للتعامل مع تغيرات كبيرة في الحمل كما هي الحال في المبخرات المغمورة.



الشكل رقم (١,٢٢). استخدام محبس عوامة الضغط العالي في المبخرات الجافة.

بصورة عامة يستخدم محبس عوامة الضغط العالي في منظومة التبريد التي تستخدم ضواغط الطرد المركزي (centrifugal compressors)

بدراستنا لكيفية عمل محبس عوامة الضغط المنخفض ومحبس عوامة الضغط العالي يمكن استنتاج الفروق الموضحة في الجدول (١,٣).

الجدول رقم (٣,١). مقارنة محبس عوامة الضغط المنخفض والضغط العالي.

محبس عوامة الضغط المنخفض	محبس عوامة الضغط العالي
يكون في جانب الضغط المنخفض	يكون في جانب الضغط العالي
إبرة المحبس تكون عند الخروج	إبرة المحبس تكون عند الدخول
يقفل عند ارتفاع مستوى السائل	يفتح عند ارتفاع مستوى السائل

مسائل نظرية:

اذكر:

١- أسباب الهبوط في الضغط في الأنبوبة الشعرية.

٢- مميزات الأنبوبة الشعرية.

٣- عيوب الأنبوبة الشعرية.

٤- الغرض من لف جزء من الأنبوبة الشعرية على خط السحب لتعمل كمبادل حراري.

٥- مع الرسم القوى المؤثرة على صمام التمدد الأتوماتيكي وما هي وظيفته.

٦- مميزات صمام التمدد الكهربائي الحراري على صمام التمدد الثرموستاتي.

٩- مميزات المبخرات الجافة على المبخرات المغمورة.

١٠- مميزات المبخرات المغمورة على المبخرات الجافة.

١١- أهم الفروقات بين محبس عوامة جانب الضغط العالي ومحبس عوامة جانب الضغط المنخفض.

علل:

١- الأنبوبة الشعرية رخيصة الثمن إذا ما قورنت بوسائل التمدد الأخرى.

٢- تبقى الأنبوبة الشعرية صالحة للاستعمال لفترات طويلة إذا ما قورنت بوسائل التممد الأخرى.

٣- لا يحتاج الضاغط إلى محرك ذي عزم عالي البدء لنظام تبريد يستخدم الأنبوبة الشعرية.

٤- تكون الأنبوبة الشعرية معرضة لانسداد بمواد أو شوائب ورطوبة قد تكون موجودة داخل دورة التبريد

اشرح :

١- أداء محبس عوامة جانب الضغط العالي بإيجاز.

٢- أداء محبس عوامة جانب الضغط المنخفض بإيجاز.

مسائل حسابية:

١- إذا أردنا أن يكون معدل سريان وسيط التبريد $\dot{m}$ = 0.017 kg/s في أنبوبة شعرية قطرها 1 mm فكم يكون طولها إذا كان الضغط عند مدخلها 17 bar ضغط مشبع.

٢- بنفس طريقة المثال (١،٦)، وضح بالرسم والحساب ما الذي يحدث في حالة انخفاض الحمل على مبخر يستخدم وسيط تبريد R-134a يعمل عند درجة حرارة تبخير -2 °C وله مقدار تحميص 6 °C حيث يتعرض لهواء (حمل حراري) درجة حرارته مثلاً 5 °C .

٣- أوجد مقدار التحميص لمبخر يستخدم صمام تمدد ثرموستاتي مزود بمعادل خارجي ووسيط التبريد R-502 حيث إن درجة حرارته عند مدخل المبخر -10 °C ويوجد انخفاض في الضغط في المبخر مقداره 0.75 bar وضغط زنبرك الصمام 0.5 bar مع الاستعانة بالشكل في ملحق (C).

٤- ما هو ضغط الزنمبرك لصمام التمدد الثرموستاتي التقليدي (بدون معادل خارجي) للحصول على مقدار تحميص 10 °C لمبخر يستخدم وسيط تبريد R-717 حيث إن درجة حرارته عند مدخل المبخر 5 °C- مع الاستعانة بالشكل في ملحق (C).

٥- احسب مقدار التحميص لمبخر به وسيط تبريد R-22 درجة حرارته عند مدخل المبخر 5 °C- ويوجد انخفاض في الضغط في المبخر مقداره 0.8 bar يستخدم صمام تمدد ثيرموستاتي ضغط زنبركه 0.6 bar

إذا كان وسيلة التمدد:

- صمام التمدد الثيرموستاتي التقليدي (بدون معادل خارجي).
- صمام التمدد الثيرموستاتي المزود بمعادل خارجي.

الفصل الثاني

وسائل التحكم والحماية في نظم التبريد

Control and Safety devices in refrigeration systems

يتناول هذا الفصل وسائل التحكم والحماية المستخدمة في نظم التبريد. وسائل الحماية مثل قاطع الضغط العالي، وقاطع الضغط المنخفض، وأدوات التحكم مثل الضاغط المتعدد الأسطوانات، والمبخر المتعدد المسارات أو المزود بمراوح بسرعات متعددة ومنظم ضغط المبخر، وصمام التحكم في درجة حرارة المبخر، و منظم ضغط المكثف.

على الرغم من أن وسائل التحكم والحماية ليست من المكونات الأساسية التي لا يمكن لدورة التبريد أن تعمل بدونها إلا أنها ضرورية من حيث سلامة المكونات الأساسية لمنظومة التبريد وضمان استمرار عملها وكذلك المنتج. أيضاً وجودها ضروري لتحقيق ظروف التشغيل المطلوبة من حيث الحصول على درجة حرارة أو ضغط أو سعة تبريد محددة.

يكون دور أدوات الحماية هو التدخل عند حدوث ظروف تشغيل غير ملائمة لمكونات منظومة التبريد أو المنتج أما أدوات التحكم فهي تلك التي تستخدم للإبقاء على ظروف التشغيل المناسبة للمنتج و الملائمة للمكونات الأساسية لمنظومة التبريد.

في حين أن وسائل التحكم لا تتحكم بتشغيل وغلق الضاغط بشكل مباشر، من وسائل الحماية من يتحكم بالدوائر الكهربائية للضاغط بشكل مباشر ومنها من ليس له علاقة بالدائرة الكهربائية للضاغط.

(٢,١) وسائل الحماية

Safety devices

من وسائل الحماية ما يكون في جانب الضغط المنخفض ومنها ما يكون في جانب الضغط العالي.

(٢,١,١) وسائل الحماية لجانب الضغط المنخفض

(٢,١,١,١) قاطع الضغط المنخفض Low Pressure cut-out (LP)

عبارة عن مفتاح كهربائي (الشكل رقم ٢,١) يتم تركيبه في الدائرة الكهربائية على التوالي مع الضاغط بحيث يفصل الدائرة الكهربائية للضاغط في حالة انخفاض ضغط جانب الضغط المنخفض من منظومة التبريد عن قيمة محددةً ويتم تركيبه في الدائرة الكهربائية في خط السحب مباشرة قبل الضاغط كما هو مبين في الشكل رقم (٢,٢)

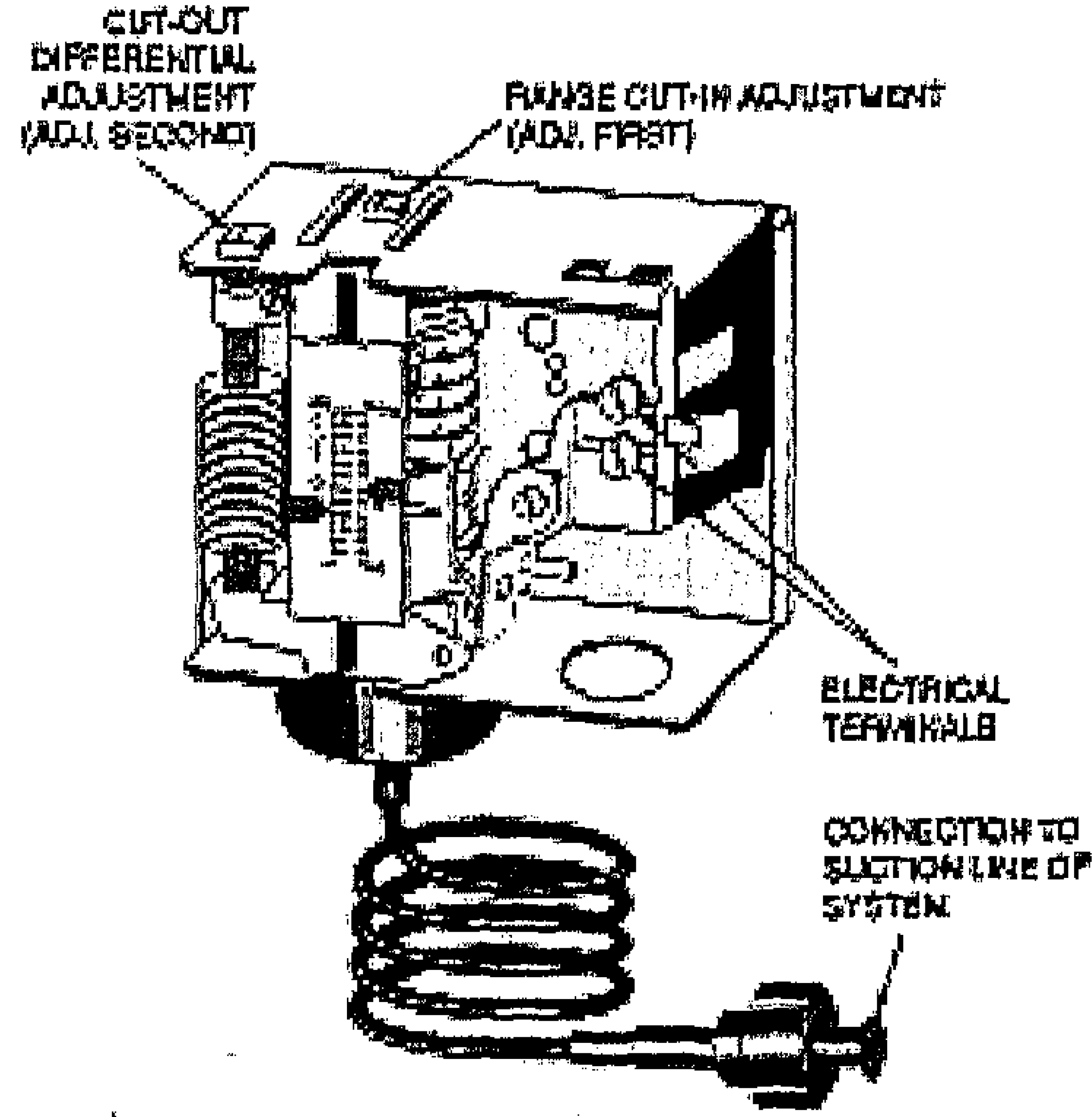
عندما يعود الضغط في جانب الضغط المنخفض إلى قيمته الطبيعية يوصل **قاطع الضغط** المنخفض الدائرة من جديد.غير انه في بعض قواطع الضغط المنخفض يكون القاطع مزود بقفل يمنع إعادة توصل الدائرة أوتوماتيكياً و يتطلب إعادة توصيل الدائرة الكهربائية لوضع التشغيل ضبطه يدوياً.

يجب أن يراعى عند ضبط نقاط قاطع الضغط المنخفض أن يفصل عند ضغط أعلى بقليل من الضغط الجوي حتى لا يحدث تسرب للهواء إلى المنظومة كذلك يجب

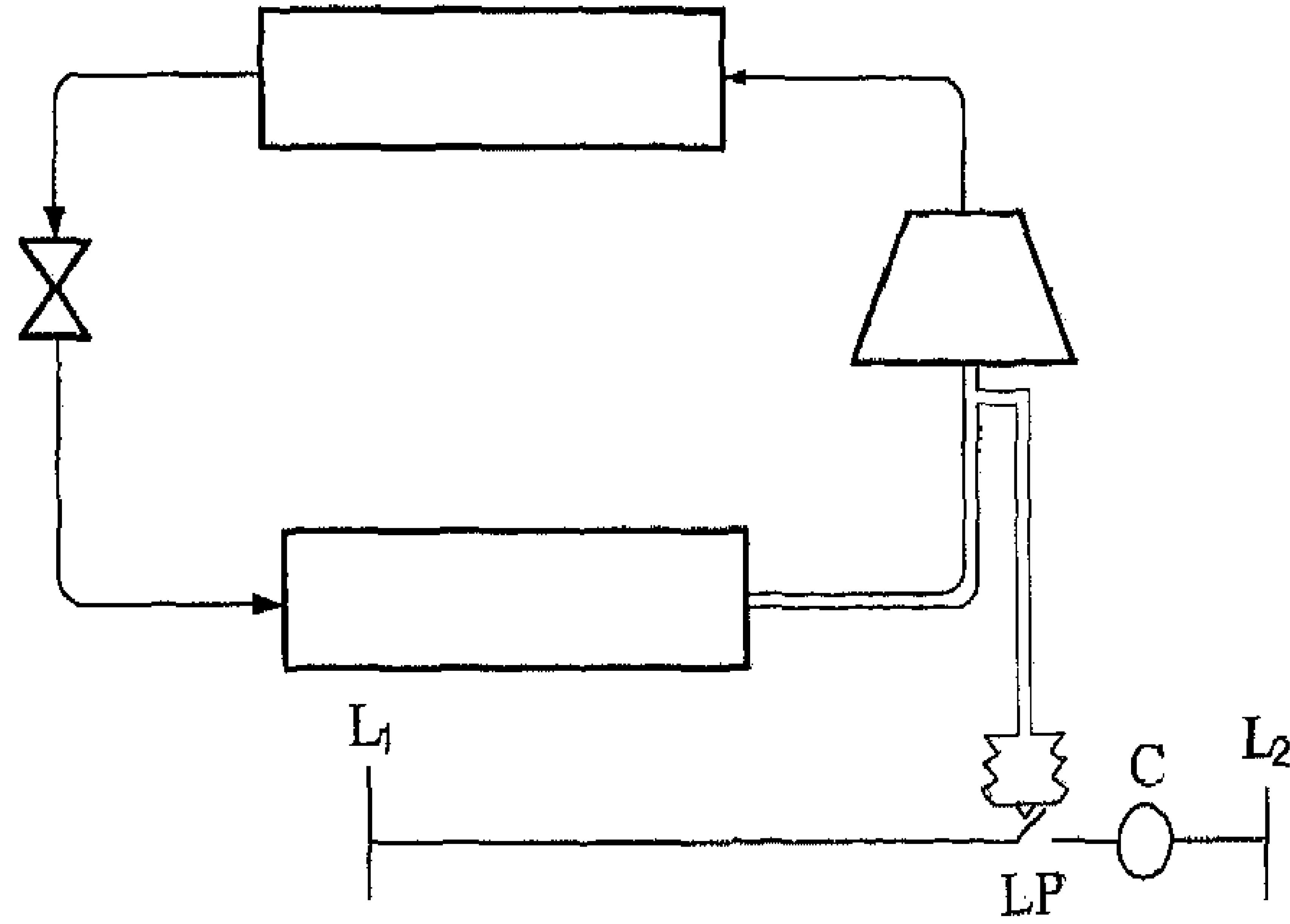
أن يراعى أن تكون نقاط الضبط بعيدة عن ظروف التشغيل بحيث تكون نقطة إعادة توصيل المنظومة أقل من أدنى درجة حرارة تبخير وبذلك يعمل الثيرموستات على فصل وإعادة توصيل المنظومة تبعاً للمدى المسموح فيه للتغير في درجة حرارة التبخير ويكون دور قاطع الضغط المنخفض التدخل في حالة هبوط الضغط في خط السحب عن الحد المسموح فيه. وهنا يجب التنويه إلى أنه بدلاً من استخدام ثيرموستات وقاطع ضغط منخفض معاً، يمكن استخدام قاطع الضغط المنخفض فقط ليؤدي وظيفة الثيرموستات وهذا أحد استخدامات قاطع الضغط المنخفض التي سوف نذكرها لاحقاً.

يجب أيضاً أن يأخذ في الاعتبار عند ضبط نقاط قاطع الضغط المنخفض الفقد في الضغط في خط السحب خاصة عندما يكون الضاغط بعيداً عند المبخر. على سبيل المثال عندما يُراد أن يفصل قاطع الضغط المنخفض الضاغط عند درجة حرارة تبخير 15 °C- (164 kPa) لوسيط تبريد R134a وكان مقدار الانخفاض في الضغط في خط السحب يقدر بحوالي 20 kPa فإن عدم الأخذ في الاعتبار الفقد في الضغط في خط السحب سوف يؤدي إلى أن يفصل الضاغط عند درجة حرارة تبخير 12.9 °C- (درجة التشبع المقابلة لضغط 184 kPa). في هذه الحالة يجب أن يضبط قاطع الضغط المنخفض عند ضغط 184 kpa حتى يفصل الضاغط عندما يكون الضغط في المبخر 164 kpa لضمان أن تكون درجة حرارة التبخير 15 °C.

بالنسبة لنقطة إعادة التوصيل لا يؤخذ في الاعتبار الهبوط في الضغط ؛ لأنه ليس هناك سريان ولذلك فإن الضغط في خط السحب يكون مساوياً للضغط في المبخر.



الشكل رقم (٢,١). قاطع الضغط المنخفض.



الشكل رقم (٢,٢). تركيب قاطع الضغط المنخفض في دائرة التبريد.

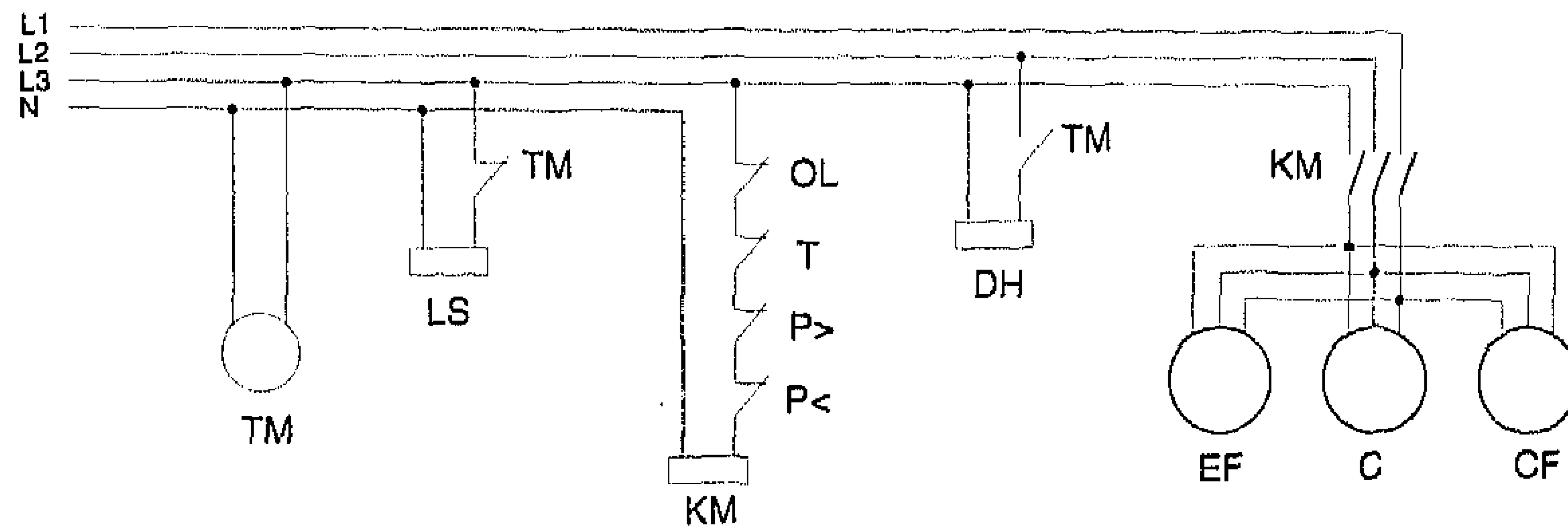
يستخدم قاطع الضغط المنخفض للأغراض الآتية:

- الحفاظ على سلامة الضاغط ، حيث إنه في الوحدات الصغيرة يتم تبريد ملفات الضاغط بوسيط التبريد عند مروره على ملفات الضاغط قبل أن يتم ضغطه.

انخفاض الضغط في خط السحب يدل على أن شحنة وسيط التبريد صغيرة وهذا يترك ملفات الضاغط بدون تبريد كافي.

- الحفاظ على أن يكون الضغط داخل منظومة التبريد أكبر من الضغط الجوي لضمان عدم تسرب هواء إلى داخل منظومة التبريد عند انخفاض الحمل الحراري.
- ضمان وجود حد أدنى من وسيط التبريد في المبخر عند انخفاض الحمل الحراري.
- ضمان وجود أقل كمية ممكنة من وسيط التبريد في المبخر وخط السحب لأنه عند توقف الضاغط لفترات طويلة أو قبل فترة إذابة الصقيع سوف يؤدي إلى ارتفاع حرارة وسيط التبريد في خط السحب واختلاط مع زيت صندوق المرفق. هذا سوف يتسبب في خفض لزوجة الزيت أو هروبه من الضاغط مع وسيط التبريد عند بدء تشغيل الضاغط مرة أخرى في عملية تسمى ترغّي (foaming). وهنا يكون قاطع الضغط المنخفض جزءً من دائرة الضخ التحتي (pump-down cycle) الموضحة في الشكل رقم (٢،٣) حيث يقوم صمام السلنويد في خط السائل بمنع وسيط التبريد من المرور إلى المبخر مع استمرار الضاغط في العمل، ومن ثم يتم تفريغ وسيط التبريد من جانب الضغط المنخفض إلى المكثف، وخزان السائل وبعد فترة من الوقت تقل كمية وسيط التبريد في خط السحب ويكون دور قاطع الضغط المنخفض إيقاف الضاغط عندما ينخفض ضغط وسيط التبريد في خط السحب إلى قيمة محددة.
- للعمل بدلاً من الثيرموستات وذلك بالتحكم بدرجة حرارة المكان المُبرد بصورة غير مباشرة عن طريق التحكم في الضغط في خط السحب. على سبيل المثال عند استخدام وسيط تبريد R134a إذا كان الثيرموستات مصمماً ليفصل الضاغط عندما تكون درجة حرارة التبخير 5- ^{o}C ويعيد التوصيل عندما تكون 5 ^{o}C

فيضبط قاطع الضغط المنخفض ليفصل عند ضغط التشبع المقابل لـ -5 °C (243.5 kPa) ويوصل عند ضغط التشبع المقابل لـ 5 °C (349.6 kPa) وفي حالة وجود هبوط في الضغط في خط السحب يجب أيضاً أخذه في الاعتبار كما سبق توضيحه.



C	: محرك الضاغط Compersssor Motor	OL	: اوفرلود Overload
CF	: محرك مروحة المكثف Condenser Fan Motor	T	: ثيرموستات Thermostat
DH	: سخان إذابة الصقيع Defrost heater	TM	: مؤقت زمني Timer
: EF	: محرك مروحة المبخر Evaporator Fan Motor	KM	: كونتاكتر الضاغط contactor Compressor
P>	: فاصل الضغط العالي High pressure cut-out	P<	: فاصل الضغط المنخفض Low pressure cut-out
LS	: صمام كهرومغناطيسي (سلونويد) خط السائل Liquid Solnoid valve		

الشكل رقم (٣,٢). استخدام قاطع الضغط المنخفض في دائرة الضخ التحتي (pump-down cycle).

يمكن أن ينخفض ضغط التبخير للأسباب الآتية:

١- نقص شحنة وسيط التبريد .

٢- وجود انسداد في صفاية خط السائل.

٣- وجود انسداد في صمام التمدد الحراري.

٤- انخفاض الحمل الحراري على المبخر.

يُعالج السبب الأول بزيادة شحنة وسيط التبريد في الدائرة والبحث عن أسباب نقصها عن طريق الكشف عن التسرب في منظومة التبريد حتى لا تحدث المشكلة مرة أخرى. يُعالج السبب الثاني بتنظيف أو تغيير الصفاية. يُعالج السبب الثالث بتغيير صمام التمدد الحراري. انخفاض الحمل الحراري على المبخر لا يعتبر مشكلة لذلك لا يحتاج إلى معالجة .

(٢,١,١,٢) قاطع ضغط الزيت الفرقي Oil Pressure Switch

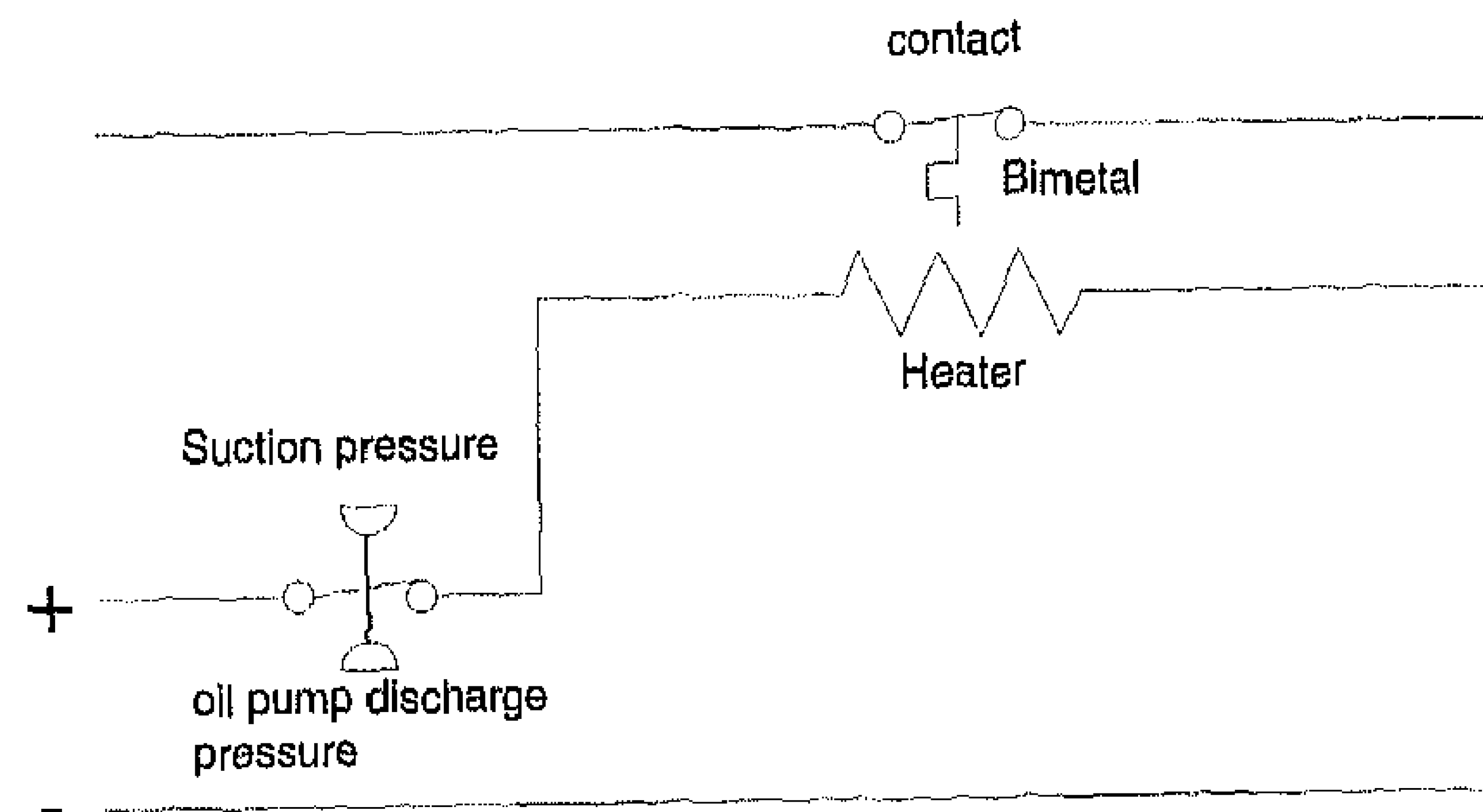
الغرض من استخدامه: الضواغط تحتاج إلى تزييت مستمر لحماية أجزائها المتحركة من التأكل نتيجة ارتفاع درجة الحرارة بسبب الاحتكاك. في الضواغط الصغيرة تكون طريقة الطرطشة كافية لتزييت أجزاء الضاغط المتحركة ولكن في الضواغط الكبيرة تستخدم مضخة لضخ الزيت من حوض الكرنك إلى أجزاء الضاغط المتحركة المختلفة. عندما تعمل المضخة بصورة صحيحة يكون الضغط عند مخرج المضخة أعلى منه عند المدخل وفي حالة فشل المضخة، تقترب قيمة الضغط عند المخرج من المدخل. لحماية الضاغط من الاستمرار في العمل عند فشل المضخة، يستخدم قاطع ضغط الزيت الفرقي لفصل الدائرة الكهربائية للضاغط عندما يقل الفرق في الضغط بين مخرج المضخة وحوض الكرنك (مدخل المضخة) عن قيمة محددة. هذه القيمة عادةً تكون في حدود 100 kPa (15 psi).

طريقة عمله:

الشكل رقم (٢,٤) يوضح الدائرة الكهربائية لضاغط مزود بقاطع ضغط الزيت الفرقي.

- العناصر المطلوبة بالإضافة إلى قاطع ضغط الزيت الفرقي هي مؤخر زمني وسخان كهربائي. المؤخر الزمني عبارة عن مزدوج معدني.

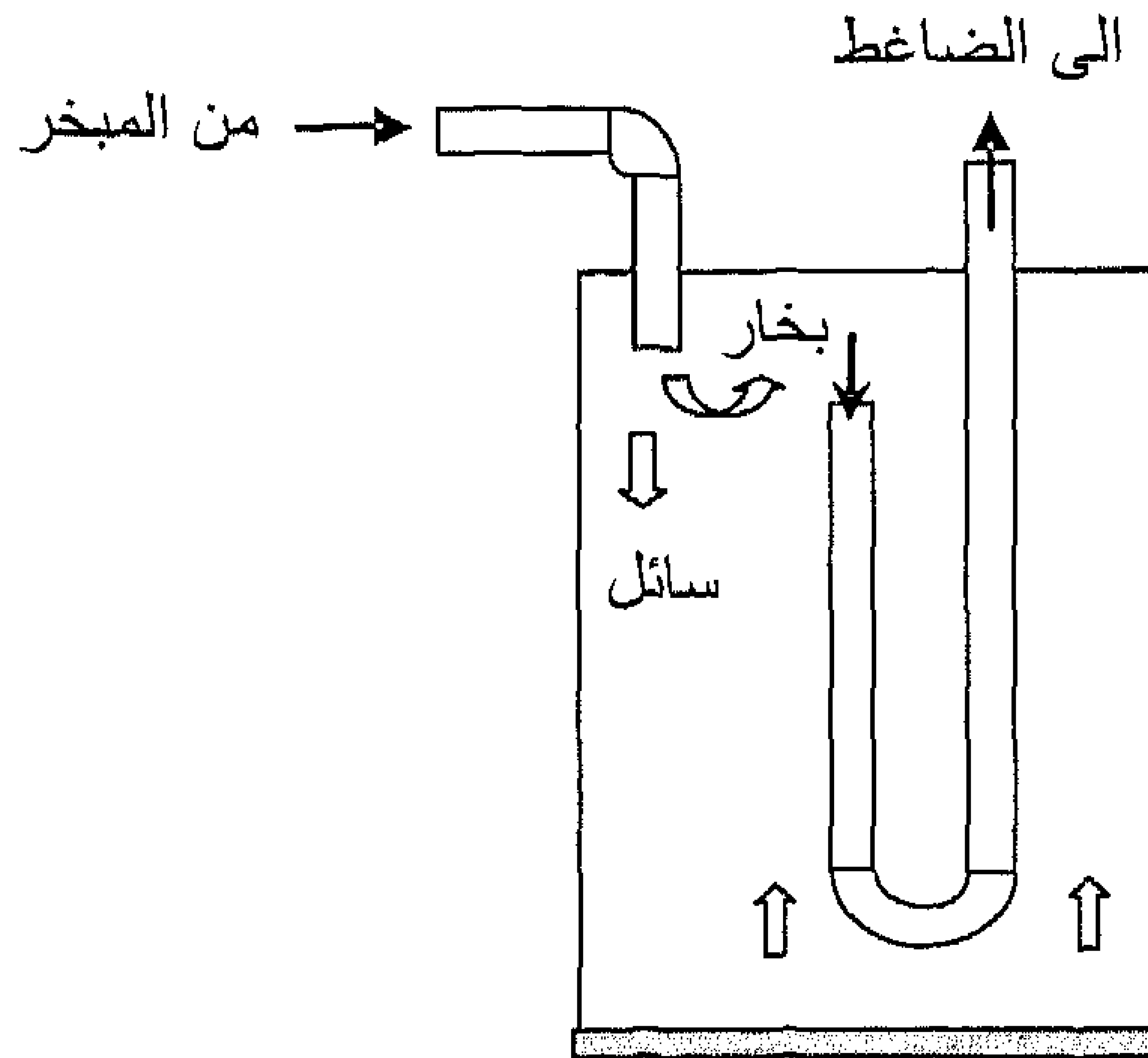
- في البداية يتم تشغيل الضاغط ، وحيث إنه لا يوجد فرق في الضغط بين حوض الزيت ومخرج المضخة يكون السخان في وضع توصيل ؛ ولأن المزدوج المعدني قريبٌ من السخان فانه لو استمر التسخين لمدة زمنية معينة تم تحديدها مسبقاً عند تصميم المُؤخر الزمني فإن المزدوج المعدني سوف يتحرك ليفصل الدائرة الكهربائية للضاغط.
- تقدر المدة الزمنية بنحو 90 sec وهي كافية لإحداث الفرق المطلوب في الضغط بين مخرج ومدخل المضخة في حالة عمل المضخة ووجود كمية زيت كافية. عند انتهاء هذه المدة الزمنية يكون الفرق بين الضغط عند مخرج المضخة وحوض الزيت قد وصل إلى القيمة التي يفصل عندها قاطع ضغط الزيت الفرقي دائرة السخان الكهربائي حتى لا يستمر في تسخين المزدوج المعدني وبذلك يبقى الضاغط في حالة تشغيل.
- أما إذا كانت المضخة لا تعمل أو أن كمية الزيت في خوض الزيت غير كافية فلن يصل الفرق في الضغط إلى القيمة المطلوبة ومن ثم سوف يستمر السخان في العمل حتى يفصل المزدوج المعدني الضاغط حفاظاً على سلامة الضاغط من الضرر.



الشكل رقم (٤,٢). عناصر قاطع ضغط الزيت الفرقي.

(٢,١,١,٣) مجمع البخار Accumulator

يوضع مجمع البخار في خط السحب عند مدخل الضاغط. يعمل المجمع على تقليل فرص سريان وسيط التبريد في حاله سائلة إلى الضاغط وذلك حفاظاً على سلامة الضاغط ويعمل بنفس المبدأ الذي يعمل به **فاصل الزيت** حيث يسقط السائل إلى الأسفل ويبقى بخار وسيط التبريد بسبب فرق الكثافة في الجزء العلوي من المجمع (الشكل رقم ٢,٥) ويتم سحبه إلى الضاغط بمعزل عن السائل.



الشكل رقم (٢,٥). مجمع البخار.

(٢,١,٢) وسائل حماية جانب الضغط العالي

(٢,١,٢,١) قاطع الضغط العالي (HP) High pressure cut-out

عبارة عن مفتاح يفصل الدائرة الكهربائية للضاغط في حالة أن ضغط جانب الضغط العالي من منظومة التبريد تجاوز قيمة محددة مسبقا ويعيد توصيلها من جديد عندما يعود الضغط في جانب الضغط العالي إلى قيمته الطبيعية. غير أنه في بعض

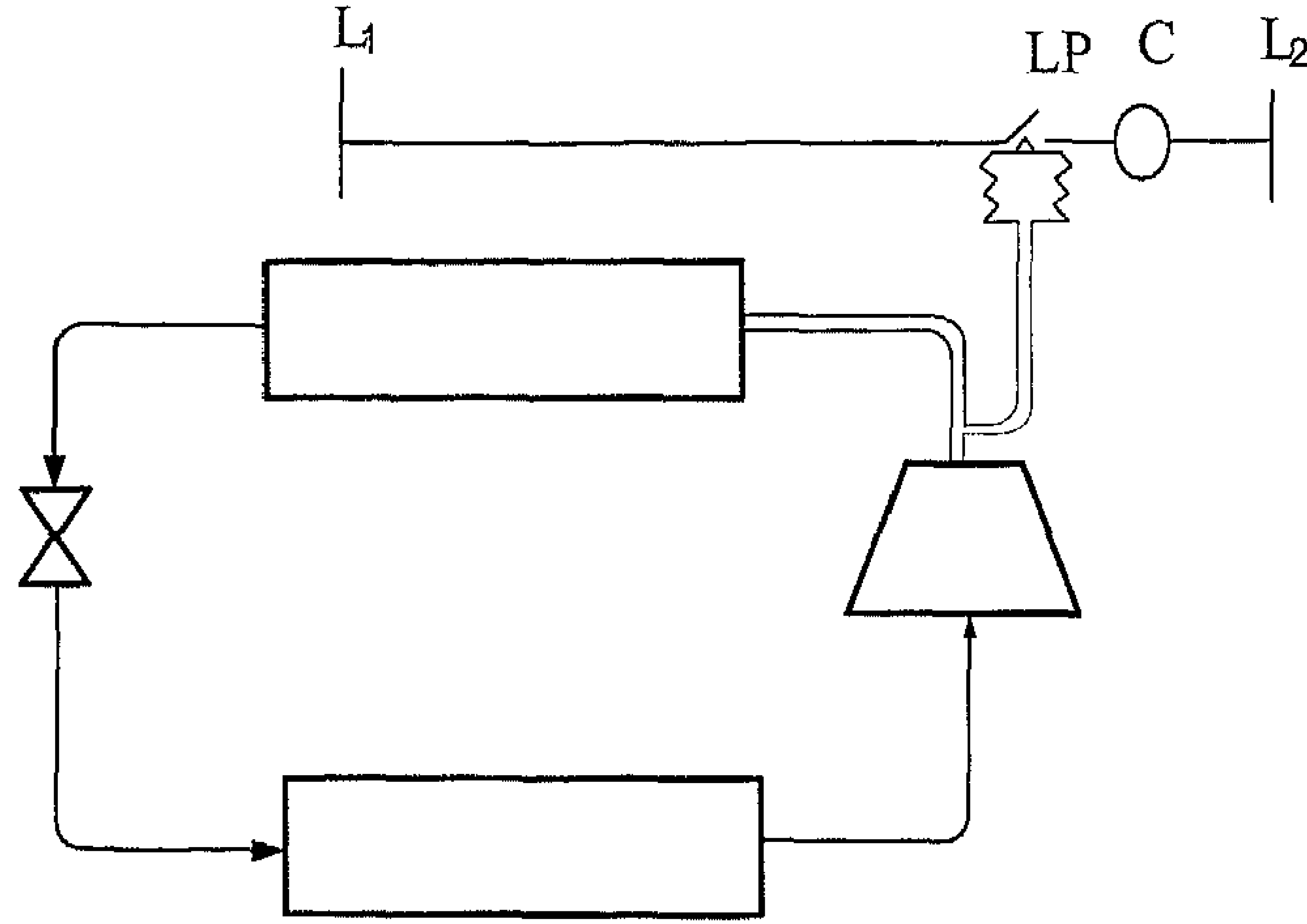
فواصل الضغط العالي يكون القاطع مزوداً بقفل يمنع إعادة توصل الدائرة أوتوماتيكياً و يتطلب ضبطه يدوياً لإعادته لوضع التوصيل حتى يمكن التعرف على أسباب ارتفاع الضغط وإجراء الإصلاحات اللازمة.

يتم تركيب **قاطع الضغط العالي** في الدائرة الميكانيكية في خط الطرد مباشرة بعد الضاغط كما هو موضح في الشكل رقم (٢,٦) ويركب المفتاح على التوالي مع محرك الضاغط وبذلك يتحكم في الدائرة الكهربائية للضاغط.

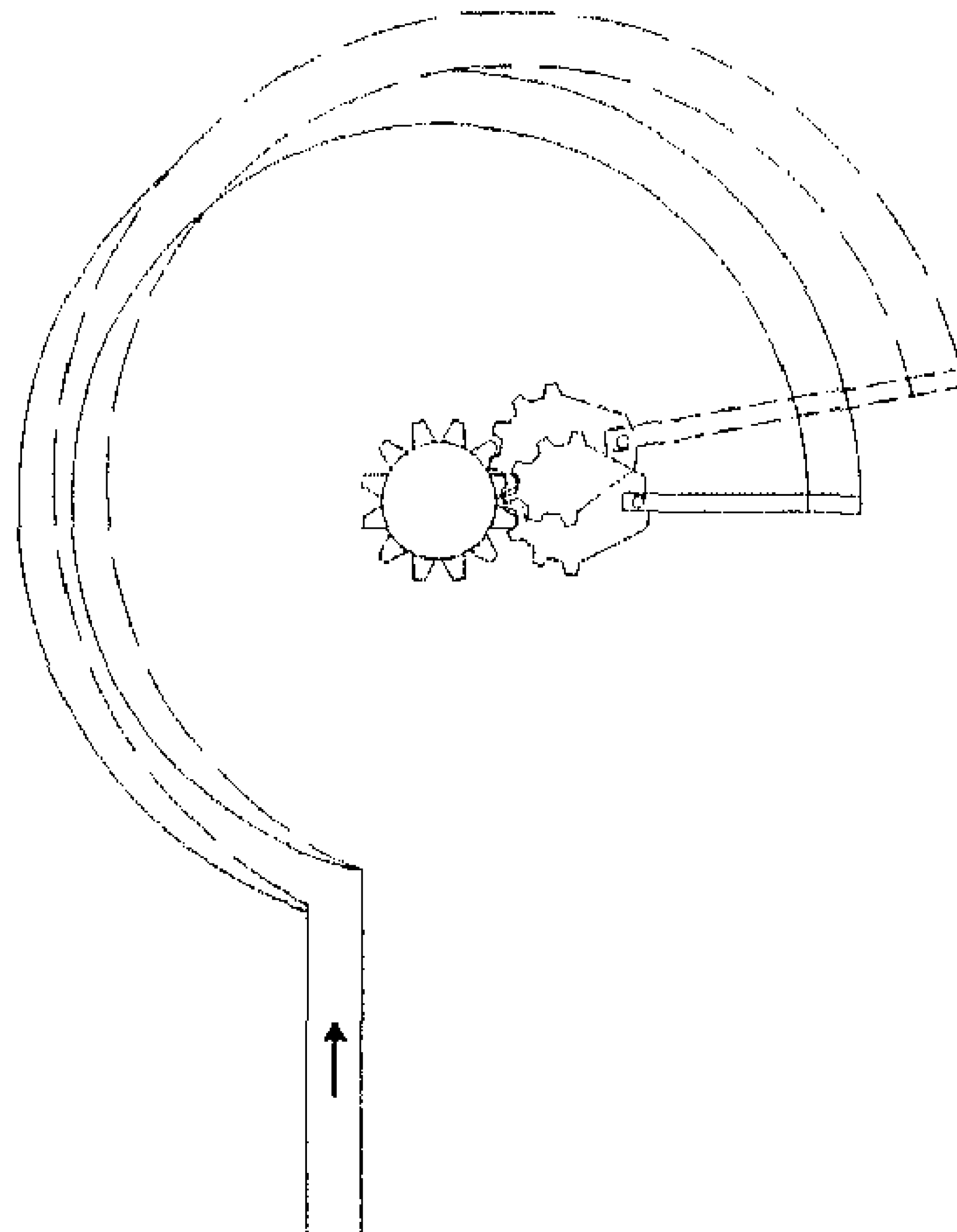
يعمل المفتاح بفعل تمدد المنفاخ (blowers) نتيجة تأثير الضغط في خط الطرد كما يوضح الشكل رقم (٢,٦). وفي آلية أخرى يستخدم أيضاً أنبوب بوردن (bourdon tube) لنقل تأثير الضغط إلى المفتاح. أنبوب بوردن عبارة عن أنبوب معدني مصمم على شكل منحنى مفتوح من أحد أطرافه ومغلق من طرفه الآخر كما في الشكل رقم (٢,٧). عند زيادة الضغط في خط الطرد يتمدد فيتغير شكله (موضح بخطوط متقطعة). يربط بنهايته المغلقة ذراع مرتبط بتروس تستفيد من حركة الأنبوب في فتح وغلق مفتاح في دائرة القدرة للضاغط . غالبا ما يستخدم أنبوب بوردن لقياس الضغط حيث يوضع مؤشر يتحرك مع حركة التروس على تدريج وفق مدى محدد.

يُصمم قاطع الضغط العالي على أن يفصل الدائرة الكهربائية للضاغط عندما يتجاوز الضغط في المكثف قيمة التصميم بحوالي 20% و يصمم المكثف المبرد بالهواء على أن تكون درجة حرارة التكثيف أعلى من درجة حرارة الهواء بـ 16 °C على الأقل. مثلاً إذا كانت درجة حرارة الهواء 45 °C في فصل الصيف يصمم المكثف على أن تكون درجة حرارة التكثيف 61 °C، فإذا كان وسيط التبريد R134a يكون ضغط التكثيف 17.21 bar ، عندئذ يصمم قاطع الضغط العالي على أن يفصل عند 20.65 bar (20% أعلى من ضغط التكثيف). أما إذا كان وسيط التبريد R22 يكون ضغط التكثيف

24.8 bar عندئذ يصمم قاطع الضغط العالي على أن يفصل عند 29.8 bar وهذا يعني أن قيمة الضغوط التي يفصل عنها الضاغط تختلف من مائع تبريد إلى آخر، لأن قيمة الضغط عند نفس درجة الحرارة تعتمد على نوع مائع التبريد.



الشكل رقم (٢,٦). تركيب قاطع الضغط العالي.



الشكل رقم (٢,٧). حركة أنبوب بوردن مع تغير الضغط.

يُستخدم قاطع الضغط العالي لسببين رئيسيين:

- الحفاظ على سلامة الضاغط، حيث إن ارتفاع ضغط جانب الضغط العالي يسبب ارتفاع نسبة الانضغاط ومن ثم زيادة التحميل على ملفات الضاغط.
- الحفاظ على سلامة مائع التبريد وزيت الضاغط، حيث إن ارتفاع الضغط يعني ارتفاع درجة الحرارة وهذا ممكن أن يتسبب في تغير التركيبة الكيميائية لوسيط التبريد أو لزيت الضاغط.

بينما يُفضل استخدام قاطع الضغط العالي في جميع أنظمة التبريد يكون استخدامه أكثر حتمية في أنظمة التبريد التي تستخدم الماء كوسط مكثف وذلك لأن احتمال حدوث خلل في دورة الماء يكون أكبر منه في دورة الهواء.

يرتفع ضغط التكثيف للأسباب الآتية:

١- زيادة شحنة وسيط التبريد .

٢- وجود هواء في نظام التبريد.

٣- اتساخ أنابيب المكثف.

٤- وجود المكثف في مكان حار.

٥- دخول الماء بدرجة حرارة أعلى من درجة حرارة التصميم (في المكثفات التي تستخدم الماء كوسط مُبرد).

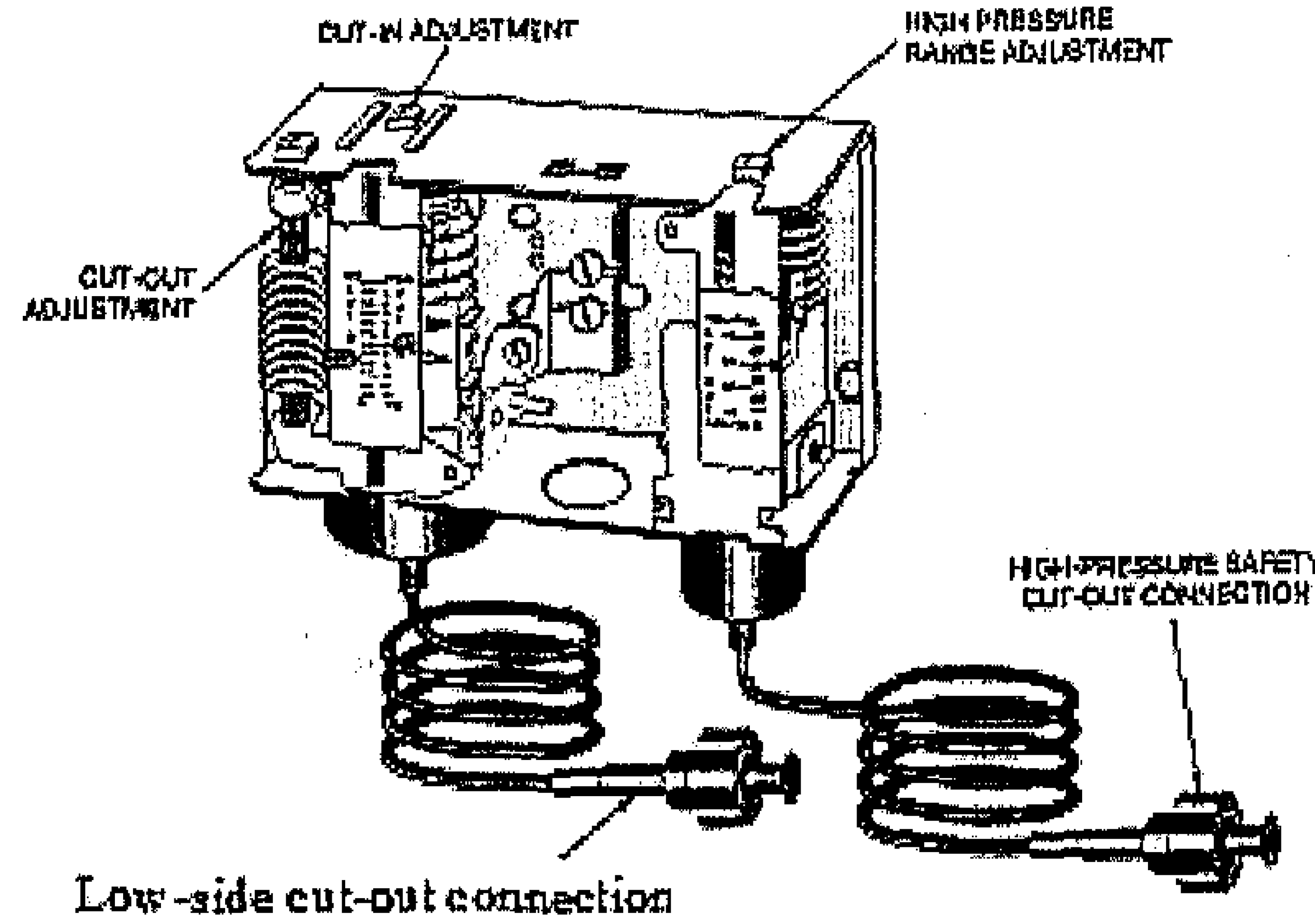
٦- انخفاض معدل سريان الماء في المكثف (في المكثفات التي تستخدم الماء كوسط مُبرد).

يُعالج السبب الأول بتفريغ بعض شحنة وسيط التبريد والتأكد بأن كمية الشحنة تتناسب مع حجم المنظومة. يُعالج السبب الثاني بتفريغ المنظومة وإتباع الإجراءات المناسبة عند شحنها مرة أخرى حتى لا تتكرر المشكلة مرة أخرى. السبب الثالث ينتج عنه زيادة المقاومة الحرارية الكلية ومن ثم انخفاض معامل انتقال الحرارة ويُعالج بتنظيف أنابيب المكثف. وجود المكثف في مكان حار كتعرضه لأشعة الشمس يعمل على زيادة

درجة حرارة الوسط المكثف فيعمل على خفض فعالية عملية التكثيف. لمعالجة السبب الخامس يفحص برج التبريد للتأكد من حصول تبادل حراري كافي لتبريد الماء. يُعالج السبب السادس بتتبع وجود أي عوائق في دورة الماء.

بالإضافة إلى استخدامه في فصل الضاغط عند تجاوز ضغط جانب الضغط العالي من منظومة التبريد قيمة محددة، يمكن أن يستخدم قاطع الضغط العالي للتحكم بتشغيل مراوح المكثف عندما يكون الوسط المكثف هو الهواء، حيث إنه عند ارتفاع ضغط التكثيف يحتاج المكثف لتكثيف وسيط التبريد إلى عمل جميع المراوح بينما عند انخفاض ضغط التكثيف يحتاج المكثف إلى عمل بعض المراوح فقط وبذلك تكون مهمة قاطع الضغط العالي تنظيم توصيل مراوح المكثف مع تغير ضغط التكثيف.

يمكن أن يركب قاطع الضغط العالي، والمنخفض معا كما في الشكل رقم (٢،٨).

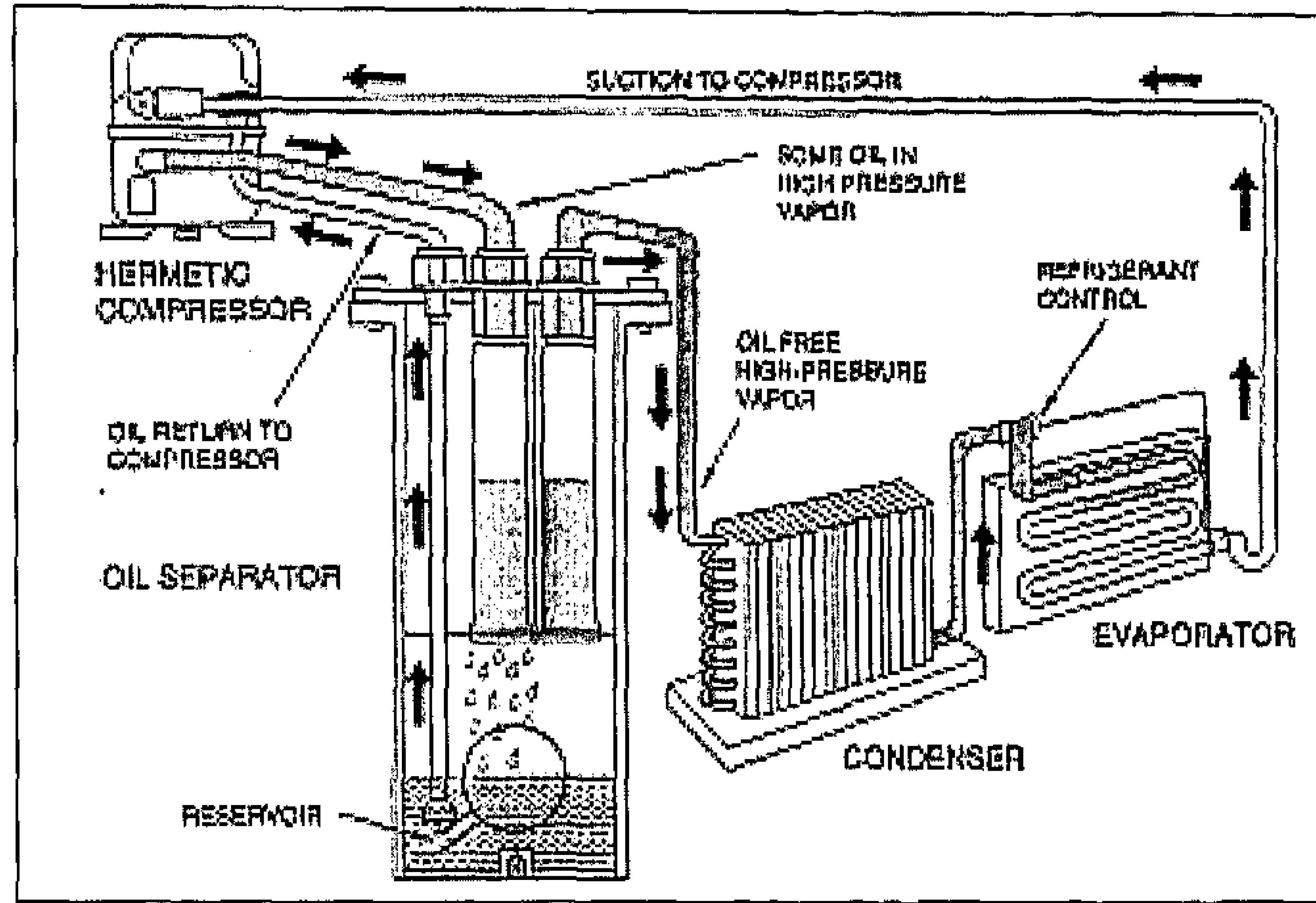


الشكل رقم (٢،٨). قاطع الضغط المنخفض والمرتفع معاً (ref. 2).

(٢،١،٢،٢) فاصل الزيت Oil separator

يعتبر فاصل الزيت من أدوات السلامة حيث يمنع الزيت من مغادرة الضاغط. ويعمل على مبدأ القصور الذاتي، حيث إنه عند مرور خليط بسرعة مع تغيير اتجاه

مفاجئ فان الوسط الذي كثافته أعلى ينفصل عن الخليط ؛ ولأن كثافة الزيت أكبر من كثافة بخار وسيط التبريد فأن الزيت عند مروره في فاصل الزيت يسقط في القاع بينما يواصل بخار وسيط التبريد السريان إلى الأعلى حيث المخرج كما هو موضح في الشكل رقم (٢,٩).



الشكل رقم (٢,٩). تركيب فاصل الزيت في دائرة التبريد (ref. 3).

يتجمع الزيت في قاع فاصل الزيت إلى أن يصل إلى مستوى محدد عنده تفتح العوامة أنبوباً موصلاً إلى حوض الكرنك، فيعود من خلاله الزيت بفعل فرق الضغط إلى حوض الكرنك للاستفادة منه في تزييت الضاغط.

(٢,٢) وسائل التحكم Control devices

(٢,٢,١) التحكم في درجة الحرارة Temperature control

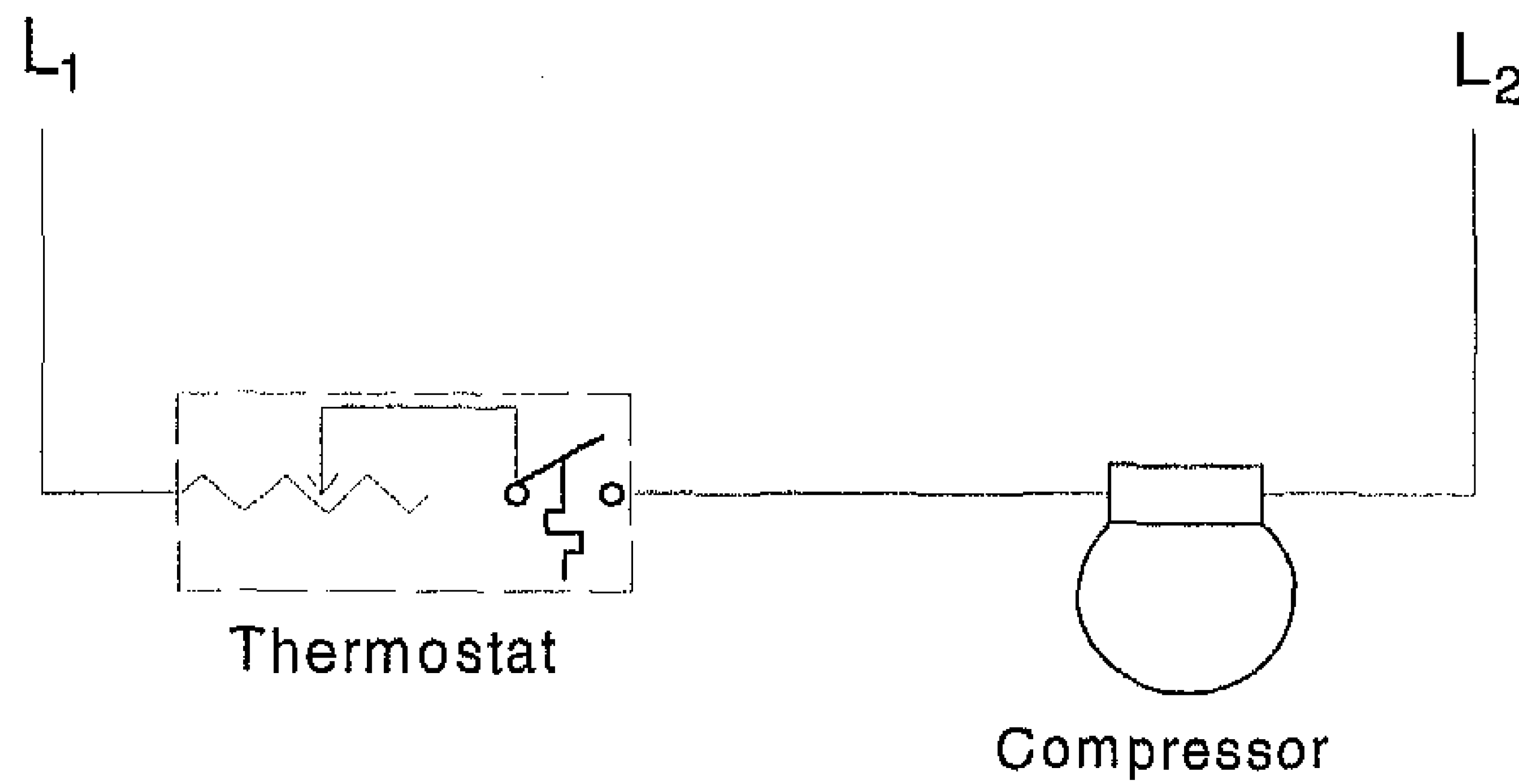
يستخدم الثيرموستات للتحكم بدرجة الحرارة لأغراض متعددة. يستخدم للتحكم بدرجة حرارة الغرفة لتحقيق الراحة لشاغليها. يستخدم في سخانات الماء

للتحكم بدرجة الحرارة أيضاً. يستخدم في ملفات الضاغط لتجنب التسخين المفرط للملفات، ومن ثم تجنب حدوث ضرر الضاغط في هذه الحالة يعتبر الثيرموستات من أدوات السلامة.

يعمل الثيرموستات المُعد للتحكم بدرجة حرارة ملفات الضاغط على فتح دائرة الضاغط عند ارتفاع درجة حرارة الملفات.

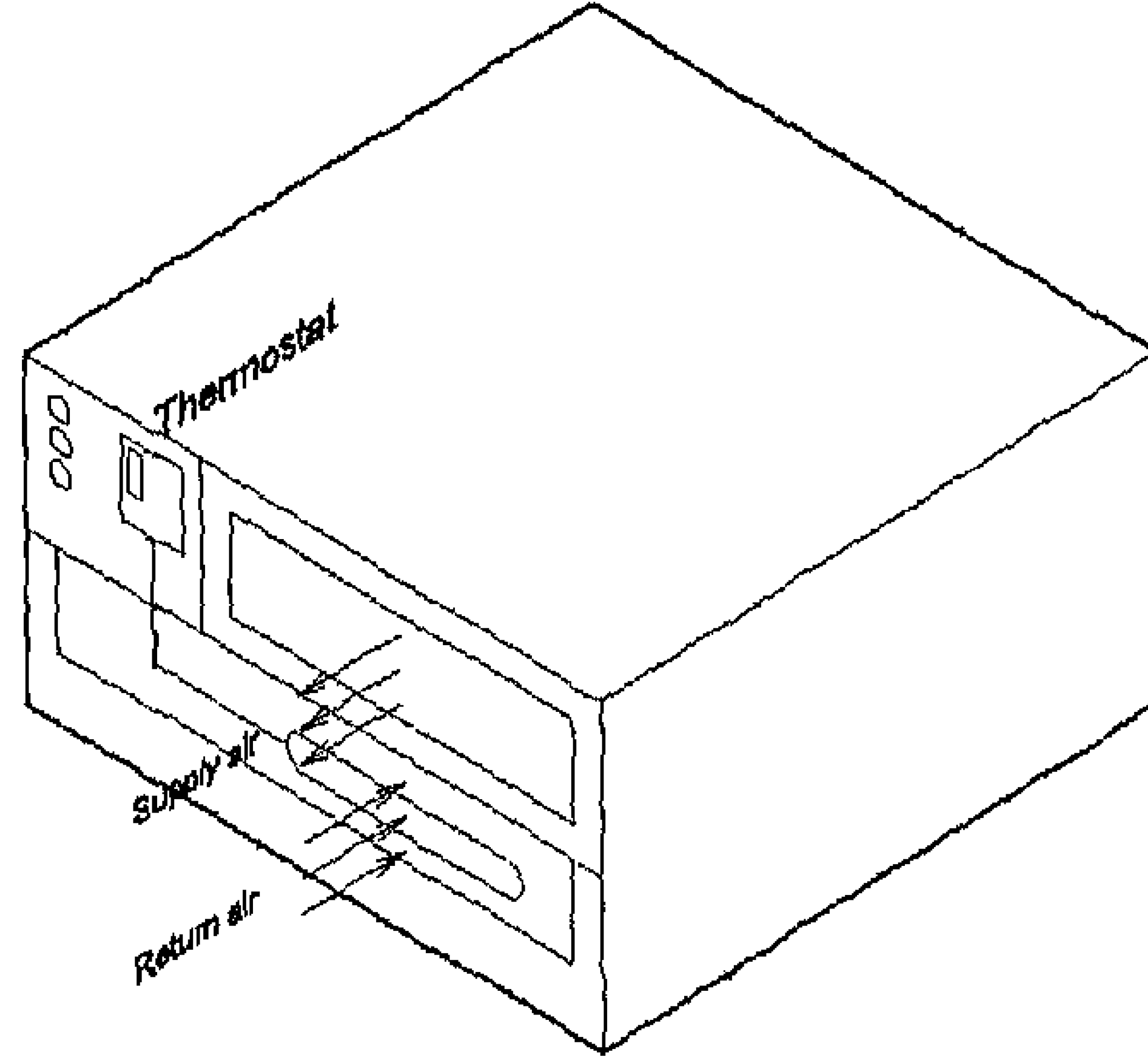
الجدير بالذكر أنه عندما يستخدم الثيرموستات لغرض التحكم في درجة حرارة الغرفة فإن نقاط الثيرموستات تفتح عند ارتفاع حرارة الغرفة في حالة التدفئة وتغلق عند ارتفاع درجة حرارة الغرفة في حالة التبريد.

عندما تكون قيمة التيار المار في دائرة التشغيل منخفضاً فإن نقاط الثيرموستات توصل بشكل مباشر في دائرة الضاغط وهذا ما يعرف بتحكم الجهد العالي حيث تكون نقاط التلامس للضاغط في نفس دائرة القدرة للضاغط كما يوضح الشكل رقم (٢,١٠).



الشكل رقم (٢,١٠) .توصل الثيرموستات بشكل مباشر في دائرة القدرة.

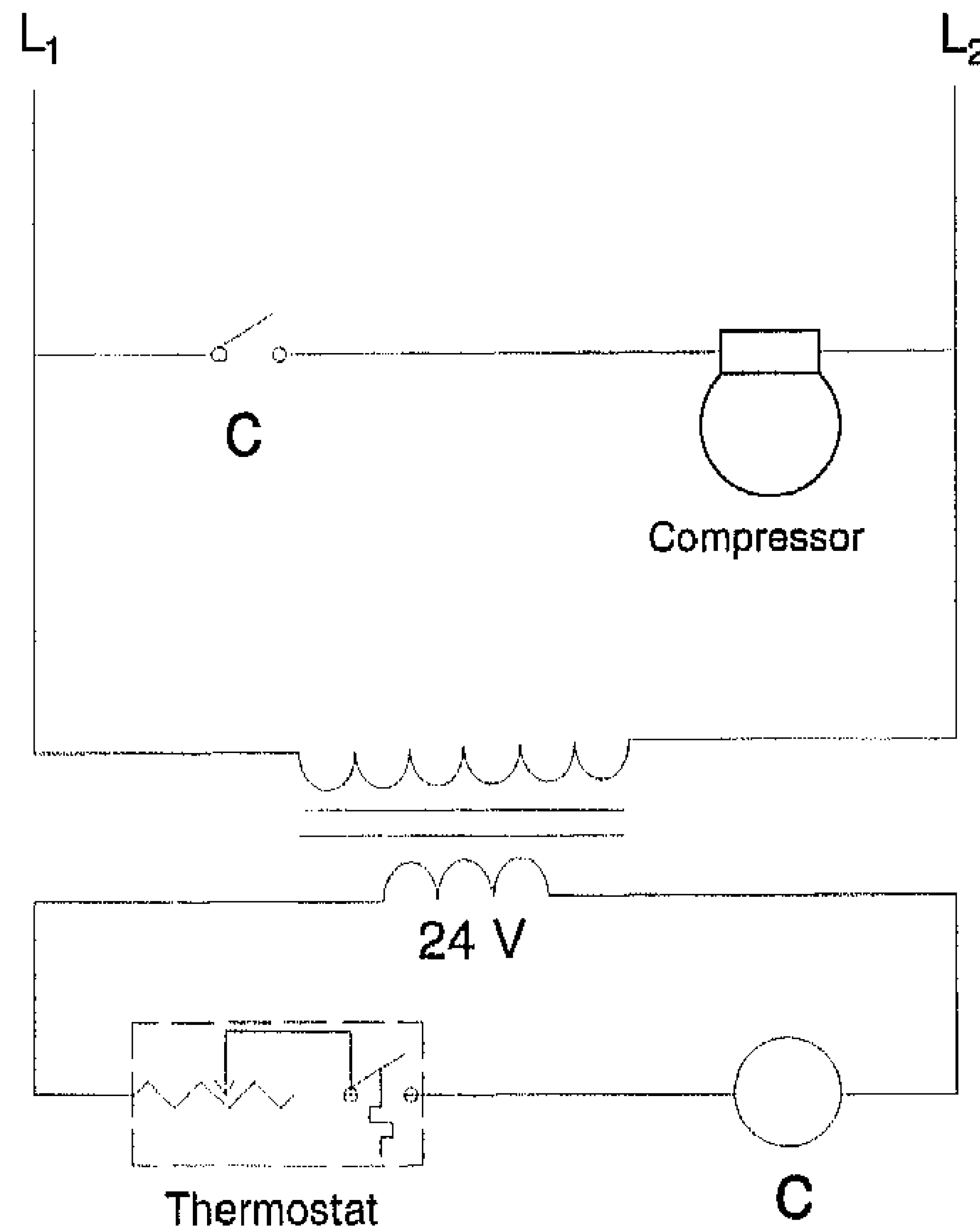
من الأمثلة على توصيل الثيرموستات بشكل مباشر نجده في الثلاجة والمكيف الشباكي حيث تكون نقاط التلامس في دائرة القدرة للضاغط وتوضع بصيلة الثيرموستات في طريق رجوع الهواء كما يوضح الشكل رقم (٢,١١).



الشكل رقم (٢,١١). توصيل الثيرموستات في دائرة القدرة للضاغط للمكيف الشباكي.

توصيل نقاط الثيرموستات في تحكم الجهد العالي أفضل؛ لأنه لا يتطلب توصيلات إضافية. ولكن إذا كانت قدرة الضاغط كبيرة نسبيا (أكبر من 3-hp) فإن تيار التشغيل قد يصل إلى 18 A والتقويم إلى 70 A ومن ثم فإن نقاط التلامس يجب أن تكون كبيرة نسبيا حتى تتناسب مع هذا التيار العالي، وهذا يتطلب أن تكون مكونات الثيرموستات مثل الثنائي المعدن (bimetal strip) كبيرة ولكن ذلك سوف يؤدي إلى بطء في استجابته للتغير في درجة الحرارة. في هذه الحالة يستخدم تحكم الجهد المنخفض (low-voltage control) بحيث يستخدم محول لخفض فرق جهد المصدر إلى فرق جهد منخفض (24 V مثلا) يستخدمه الثيرموستات في دائرة تحكم مستقلة عن دائرة القدرة كما يوضح الشكل رقم (٢,١٢). عندما تغلق نقاط التلامس للثيرموستات يصل التيار إلى ملف

الكونتاكتر (C) والذي بدورها يغلق نقاط تلامس موصلة على التوالي مع الضاغط في دائرة القدرة. بهذه الطريقة يمكن استخدام ثيرموستات بحجم صغير تكون استجابته للتغير في درجة الحرارة سريعة على الرغم من كبر قيمة التيار المار في دائرة الضاغط.



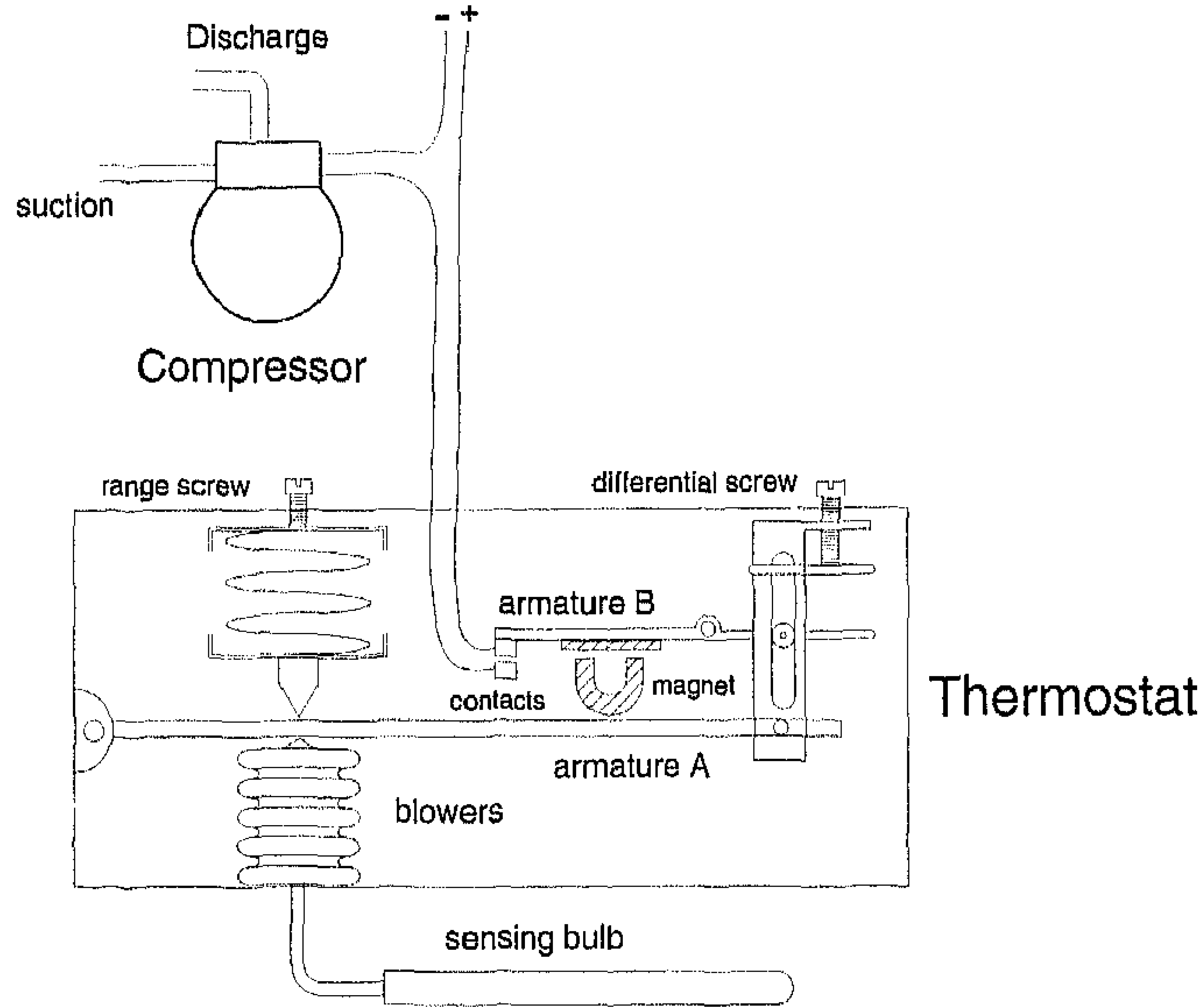
الشكل رقم (٢,١٢). توصيل الثيرموستات في دائرة التحكم في تحكم فرق الجهد المنخفض.

يجب أن يتوفر في الثيرموستات ثلاثة وظائف حتى يكون عملياً: سرعة الاستجابة للتغير في درجة الحرارة. حصول مدى بين فتح وإعادة الغلق بحيث يوصل عند درجة حرارة مختلفة عن تلك التي يفصل عندها حتى لا يحث الفصل والتوصيل في فترات قصيرة ويشكل متكرر (cycling) تؤدي إلى حصول ضرر للضاغط والوظيفة الثالثة هي التوصيل الحظي للنقاط لتفادي حصول التقوس الكهربائي (Arcing).

ميكانيكية استجابة الثيرموستات لتغير في درجة الحرارة تأتي بطرق مختلفة. منها استخدام البصيلة (bulb) والمنفاخ (blowers) أو استخدام شريط ثنائي المعدن (bimetal strip) ميكانيكية البصيلة والمنفاخ موضحة في الشكل رقم (٢,١٣)، والشكل رقم (٢,١٤). تحتوي البصيلة على شحنة سائلة قابلة للتطاير (volatile) بمعنى أن الشحنة تتبخر عند درجات حرارة منخفضة نسبيا. هذه البصيلة مرتبطة بمنفاخ عبر أنبوب رفيع. عندما تتعرض البصيلة لارتفاع في درجة الحرارة فإن الشحنة تبدأ في التبخر فيرتفع الضغط داخل المنفاخ ويتمدد. يوجد ذراع A بين المنفاخ والزنبرك القابل للضبط. تعمل القوة المتولدة في المنفاخ على تحريك الذراع إلى الأعلى وتعمل قوة الزنبرك على مقاومة حركة الذراع. بما أن الذراع A مرتكز على طرفه الأيسر والطرف الآخر حر فإن الذراع يتحرك بطريقة دائرية حول محوره أما للأسفل أو للأعلى على حسب قوة الضغط المتولد في المنفاخ. يرتبط بالذراع A عبر وصلة ذراع آخر B يحتوي على نقاط التلامس. تعمل حركة الذراع A إلى الأعلى على تحريك الذراع B إلى الأسفل فتغلق نقاط التلامس و يمر التيار إلى الضاغط.

ثنائي المعدن الموضح في الشكل رقم (٢,١٥) يتألف من معدنيين لهما معامل تمدد مختلف بحيث عند التعرض لارتفاع في درجة الحرارة يتمدد المعدنيين بمعدل مختلف ؛ ولأن المعدن الخارجي له معامل تمدد أكبر فإن الشريط المعدني يتحرك بطريقة حلزونية حول محوره. هذه الحركة تحرك بصيلة صغيرة مرتبطة بثنائي المعدن تحتوي على غاز خامد (غير قابل للأكسدة) وكتلة صغيرة من الزئبق قابلة للحركة داخل البصيلة وبداخل البصيلة عند أحد أطرافها يوجد أطراف السلك الكهربائي الموصل إلى الضاغط. عندما ترتفع درجة الحرارة يتحرك الثنائي المعدني بطريقة دائرية حول محوره ويحرك معه البصيلة الصغيرة مما يؤدي إلى تدحرج كتلة الزئبق بفعل الجاذبية إلى المكان

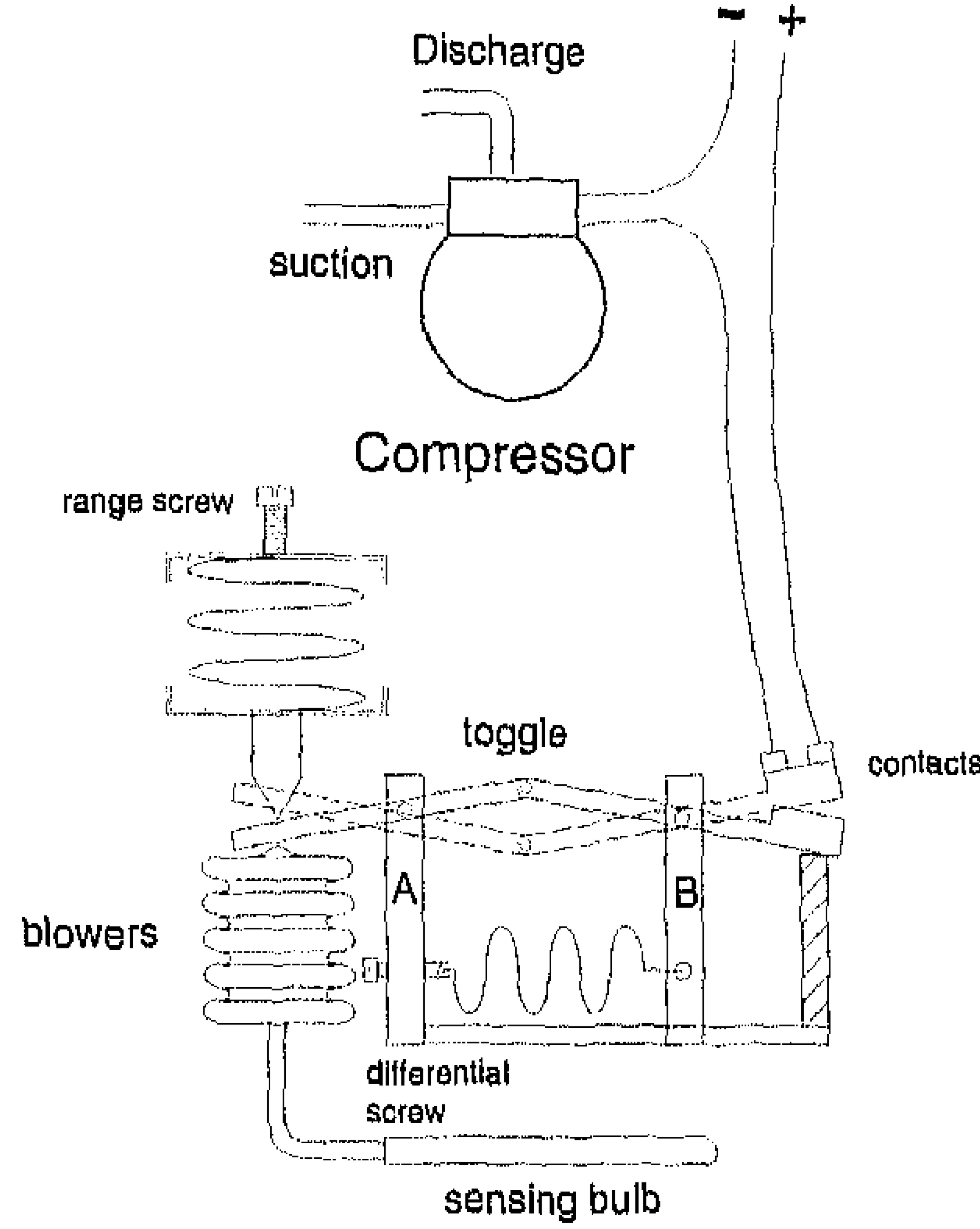
الذي يحتوي على أطراف الأسلاك ويمر التيار عبر الزئبق إلى الضاغط. عندما تنخفض درجة الحرارة يتحرك الثنائي المعدن باتجاه عكسي فيتدحرج الزئبق داخل البصيلة إلى الطرف الآخر فيفصل التيار عن الضاغط.



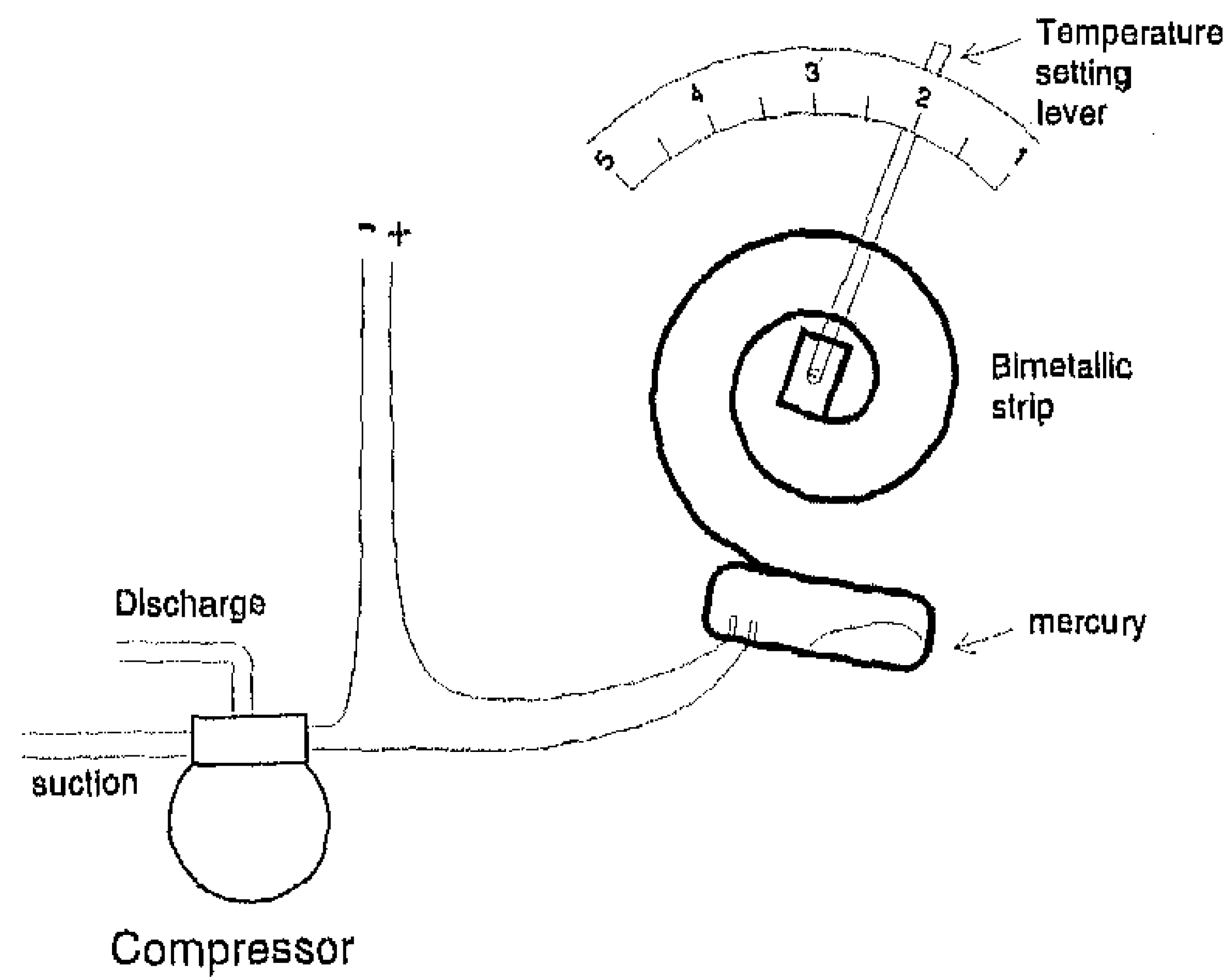
الشكل رقم (٢,١٣). ثيرموستات يستخدم البصيلة والمنفاخ للإحساس بدرجة الحرارة.

الوظيفة الثانية التي يجب أن تتحقق في **الثيرموستات** أن يوصل عند درجة حرارة مختلفة عن تلك التي يفصل عندها (يوجد مدى بين الفصل وإعادة التوصيل). يتم ذلك في الشكل رقم (٢,١٣) بوجود الوصلة بين الذراعين A و B. هذه الوصلة تحتوي على نقطة ارتكاز للذراع المتصل بنقطة التلامس وتتحرك إلى الأعلى بفعل الذراع المتصل بالمنفاخ والطرف الآخر للوصلة يمثل نقطة ارتكاز. يمكن تغيير مكان نقطة الارتكاز بضبط المسمار الفرقي (differential screw). تحريك نقطة الارتكاز إلى الأسفل

يضيف قوة معاكسة لقوة المنفاخ تقاوم حركة ذراع التلامس في حالة الإغلاق ومتوافقة مع المنفاخ في حالة الفتح وهكذا يكون الفتح عند نقطة أقل من نقطة الفصل.



الشكل رقم (٢,١٤). ثيرموستات يستخدم البصيلة والمنفاخ للإحساس بدرجة الحرارة.



الشكل رقم (٢,١٥). ثيرموستات يستخدم ثنائي المعدن للإحساس بدرجة الحرارة.

وفي الشكل رقم (٢,١٤) تتحقق الوظيفة الثانية بواسطة زنبرك يربط الوصلة A و B ويسمى الزنبرك الفرقي. يعمل الزنبرك الفرقي على مقاومة حركة الذراع المرتبط بالمنفاخ وبالتالي يعاكس القوة المتولدة في المنفاخ. في حالة التمدد يجب أن يتولد ضغط في المنفاخ يتغلب على قوة زنبرك المدى والزنبرك الفرقي حتى يغلق نقاط التلامس وفي حالة الانكماش تكون قوة الزنبرك متوافقة وبالتالي تفتح نقاط التلامس عند ضغط أقل.

في الشكل رقم (٢,١٥) تعمل الرافعة (lever) على مقاومة حركة دوران ثنائي المعدن في حالة التمدد، وبالتالي يضيف قوة يجب التغلب عليها في حالة تدوير غرفة الزئبق في اتجاه توصيل النقاط وفي حالة الفتح تأثر بنفس اتجاه تمدد الثنائي المعدن.

الوظيفة الثالثة التي يجب أن تتوفر في الثيرموستات سرعة إغلاق نقاط التلامس. يتحقق ذلك في الشكل رقم (٢,١٣) بإضافة مغناطيس يجذب ذراع التلامس B عندما يقترب في اتجاه الغلق ويقاوم تحرك ذراع التلامس عندما يغلق. إذا في كلا الحالتين يعمل المغناطيس على الإغلاق اللحظي والفتح اللحظي لنقاط التلامس. وفي الشكل رقم (٢,١٤) طريقة توصيل الذراعين المفصلية مع الزنبرك الفرقي بين A وB تعمل عند حدوث الحركة على أن تكون سريعة ومن ثم يحدث الإغلاق بسرعة والفتح بسرعة. وفي الشكل رقم (٢,١٥) يؤدي ذلك خاصية الزئبق التكتلية حيث تتدحرج باتجاه نقاط التلامس فيتم التوصيل بالشكل لحظي وفي حالة الفتح تتدحرج بشكل كلي فيفتح لحظياً.

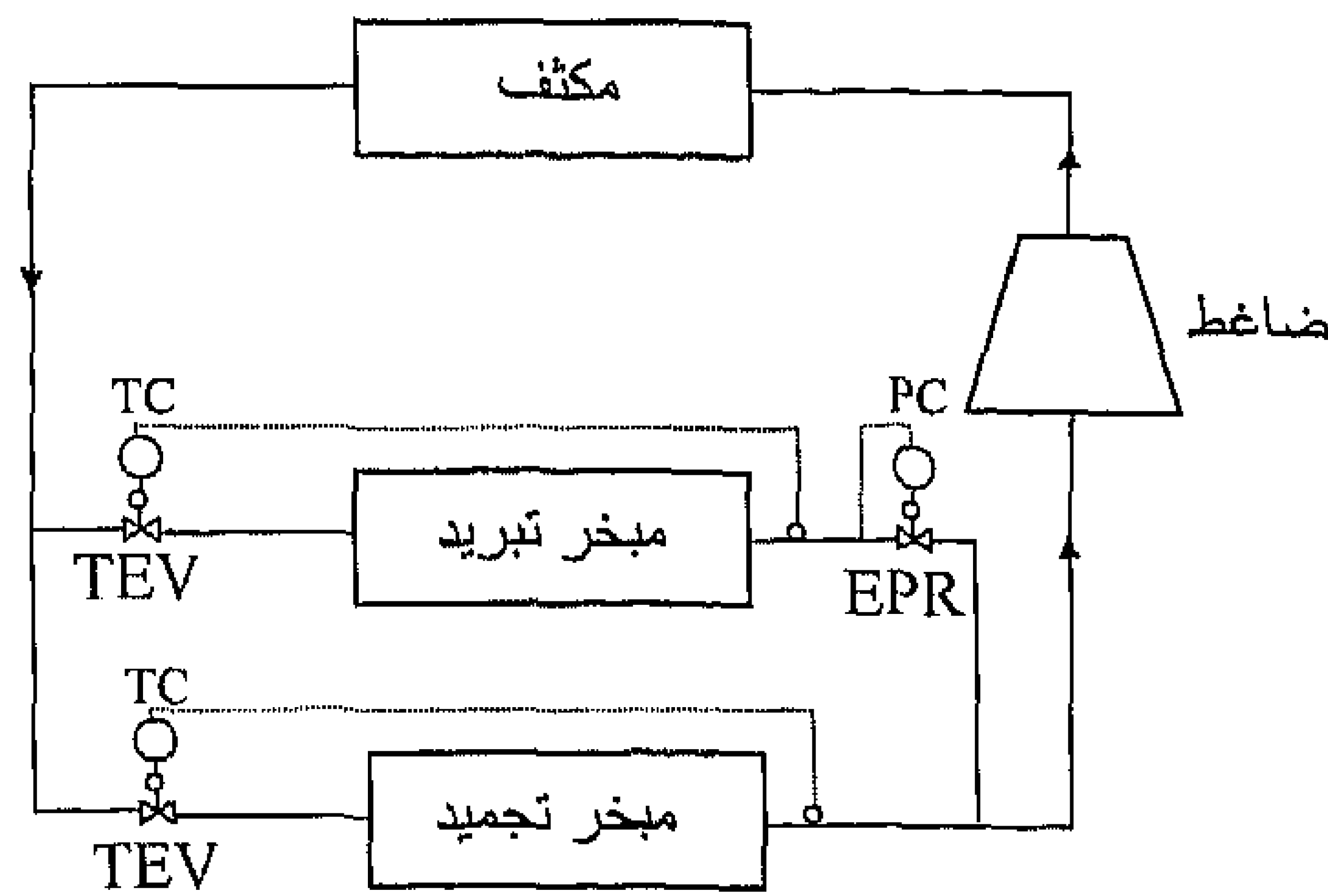
(٢,٢,٢) التحكم في الحد الأدنى لدرجة حرارة المبخر

Controlling of the lower limit evaporating temperature control

بعض التطبيقات تستلزم الحفاظ على حد ادني لدرجة الحرارة في المبخر مثل :

- المبخرات التي تُستخدم لتبريد الماء وذلك لتلافي تجمد الماء على سطح المبخر حيث إن درجة حرارة سطح المبخر يجب ألا تنخفض تحت درجة حرارة تجمد الماء (الصفر المئوي عند الضغط الجوي).
- المكيفات التي تستلزم درجة حرارة تبخير دنيا لغرض التحكم في الرطوبة.

• نظام التبريد متعدد المبخرات كما في الشكل رقم (٢,١٦) حيث يستخدم للحفاظ على حد أدنى لضغط التبخير في المبخر الذي يستخدم لغرض التبريد. على سبيل المثال نظام تبريد يستخدم مبخر تبريد يعمل عند 5 °C ومبخر تجميد يعمل عند درجة حرارة 10 °C فإنه من المهم ألا ينخفض ضغط التبخير في مبخر التبريد عن ضغط التشبع عند 5 °C لوسيط التبريد المستخدم.

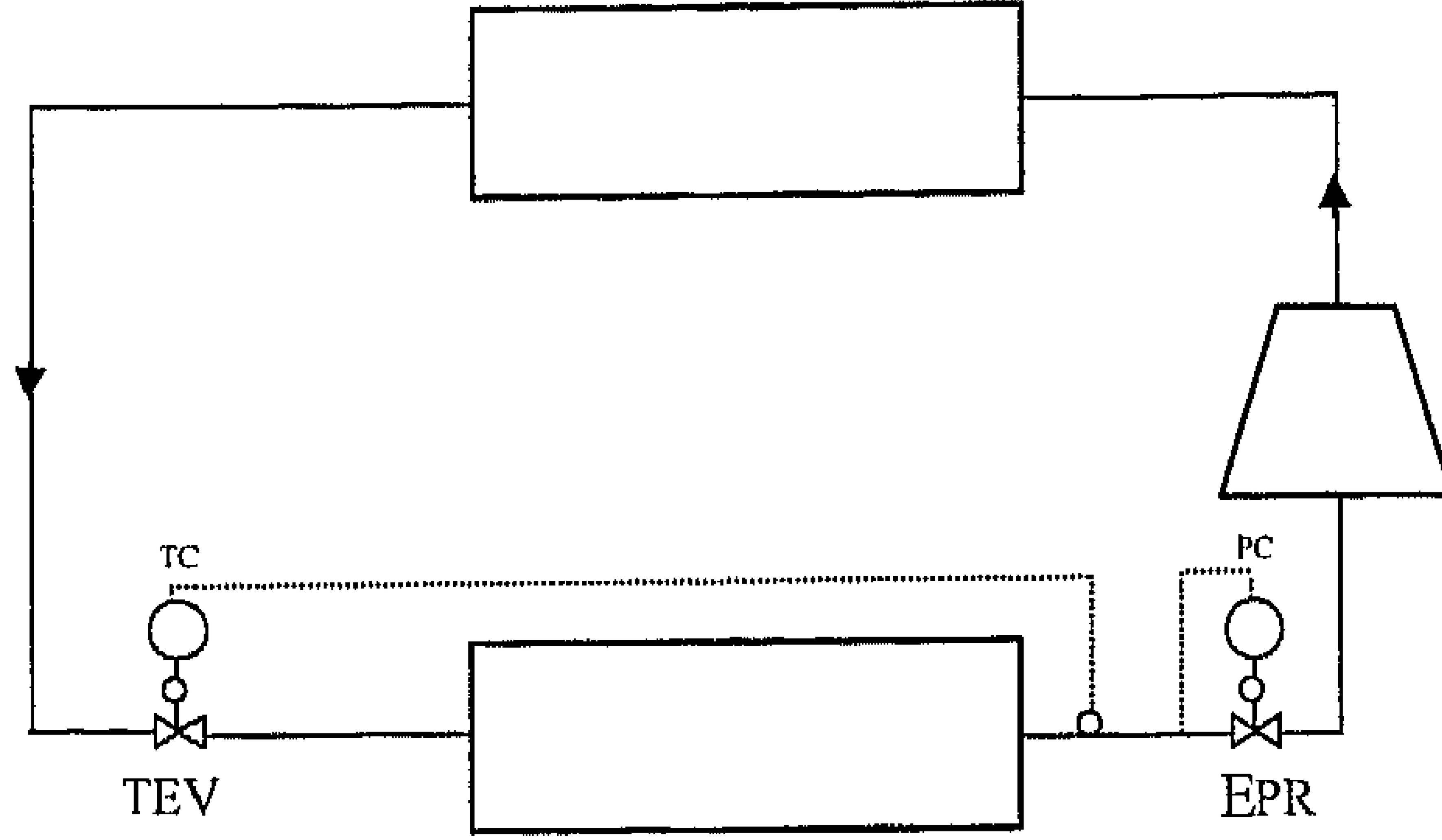


الشكل رقم (٢,١٦).نظام تبريد متعدد المبخرات مزود بمنظم ضغط المبخر. EPR: منظم ضغط المبخر. TEV: صمام التمدد الثيرموستاتي.

يستخدم للتحكم في الحد الأدنى لدرجة حرارة المبخر أما منظم ضغط المبخر أو صمام التحكم في درجة حرارة المبخر.

(٢,٢,٣) منظم ضغط المبخر Evaporator Pressure Regulator (EPR)

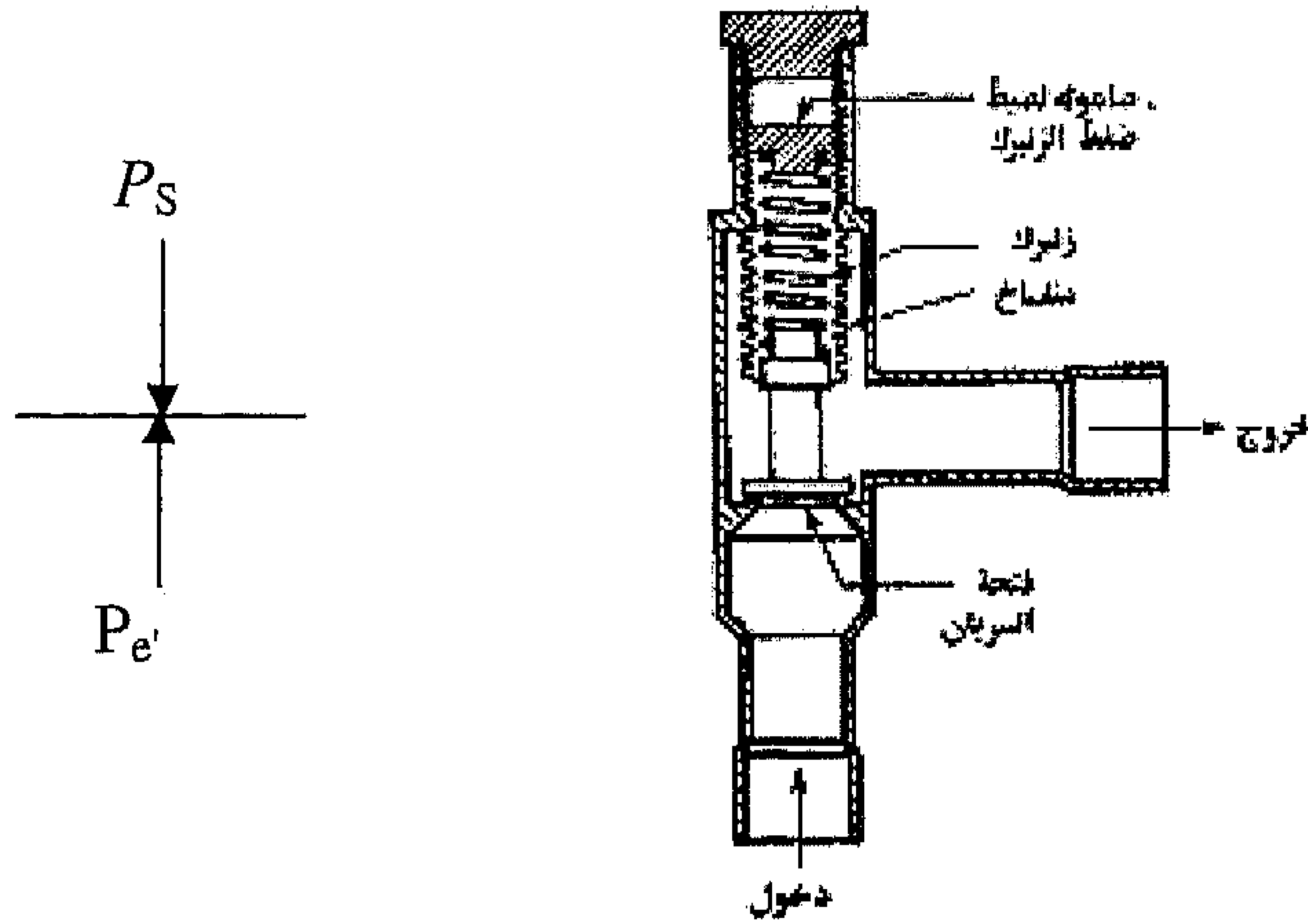
يستخدم **منظم ضغط المبخر** لضمان عدم انخفاض ضغط المبخر ودرجة حرارة التبخير عن قيمة محددة بغض النظر عن قيمته في خط السحب من جهة الضاغط. يتم تركيب EPR في خط السحب بعد المبخر كما في الشكل رقم (٢,١٧).



الشكل رقم (٢,١٧). تركيب منظم ضغط المبخر في دائرة التبريد. EPR : منظم ضغط المبخر. TEV : صمام التمدد الثيرموستاتي.

يعمل منظم ضغط المبخر على التحكم في سريان مائع التبريد بقوتين كما في الشكل رقم (٢,١٨).

- الضغط عند مخرج المبخر ($P_{e'}$) والذي يعمل في اتجاه الفتح.
- ضغط الزنبرك (P_s) والذي يعمل في اتجاه الغلق.



الشكل رقم (٢,١٨). منظم ضغط المبخر والقوى المؤثرة عليه.

إذا قل ضغط التبخير وأصبح

$$P_{e'} < P_S$$

تحرك الصمام في اتجاه الغلق وينتج من ذلك تجمع وسيط التبريد في المبخر فيزيد ضغط التبخير من جديد.

(٢,٢,٤) صمام التحكم في درجة حرارة المبخر

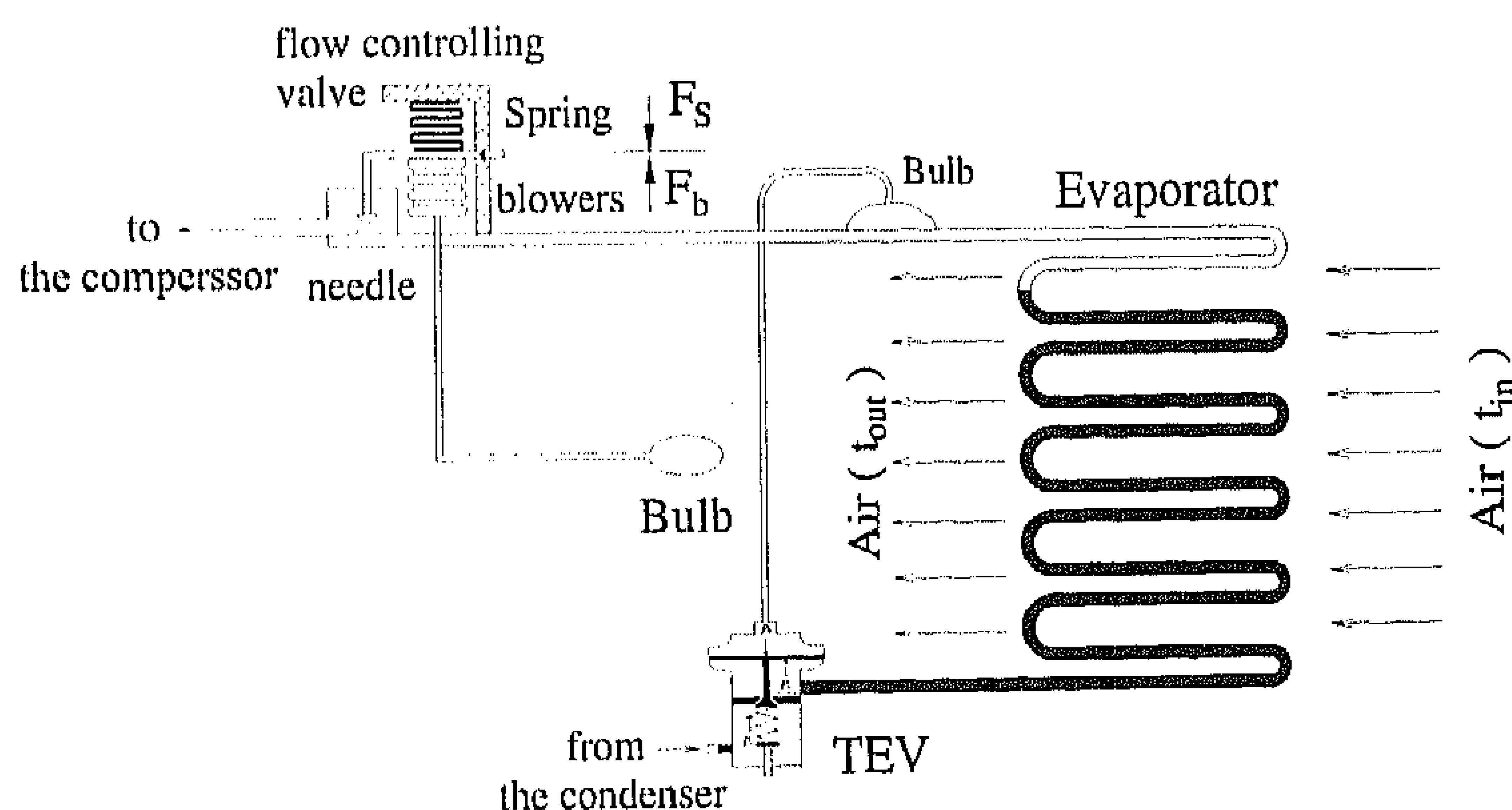
Evaporating temperature controller

يُستخدم للتحكم في ضغط المبخر (درجة حرارة التبخير) بحيث يحافظ على ألا تقل درجة حرارة التبخير عن حد معين. يتم ذلك عن طريق بصيلة توضع في طريق الهواء المغادر للمبخر ويوضع الصمام في خط السحب كما في الشكل رقم (٢,١٩).

يتم التحكم بقلب الصمام عن طريق قوتين

- قوة الزنبرك وتعمل في اتجاه الغلق F_S.
- القوة المتولدة في البصيلة الحاسة وتعمل في اتجاه الفتح F_b.

إذا انخفض الحمل الحراري على المبخر، انخفضت درجة حرارة الهواء المغادر للمبخر وبذلك يقل الضغط المتولد في البصيلة الحاسة ويتحرك قلب الصمام في اتجاه الغلق وبذلك نحافظ على ضغط المبخر ألا يقل عن قيمة محددة.



الشكل رقم (٢,١٩). تركيب صمام التحكم في درجة الحرارة في دائرة التبريد.

الفرق بين منظم ضغط المبخر وصمام التحكم في درجة الحرارة أن منظم ضغط المبخر يتحكم بشكل مباشر في ضغط المبخر عن طريق التحكم بوسيط التبريد أما صمام التحكم في درجة الحرارة فيتحكم بضغط المبخر بشكل غير مباشر عن طريق التحكم بدرجة حرارة الهواء المُغادر للمبخر.

(٢,٢,٥) التحكم في الحد الأعلى للضغط عند مدخل الضاغط

Controlling upper limit of suction pressure

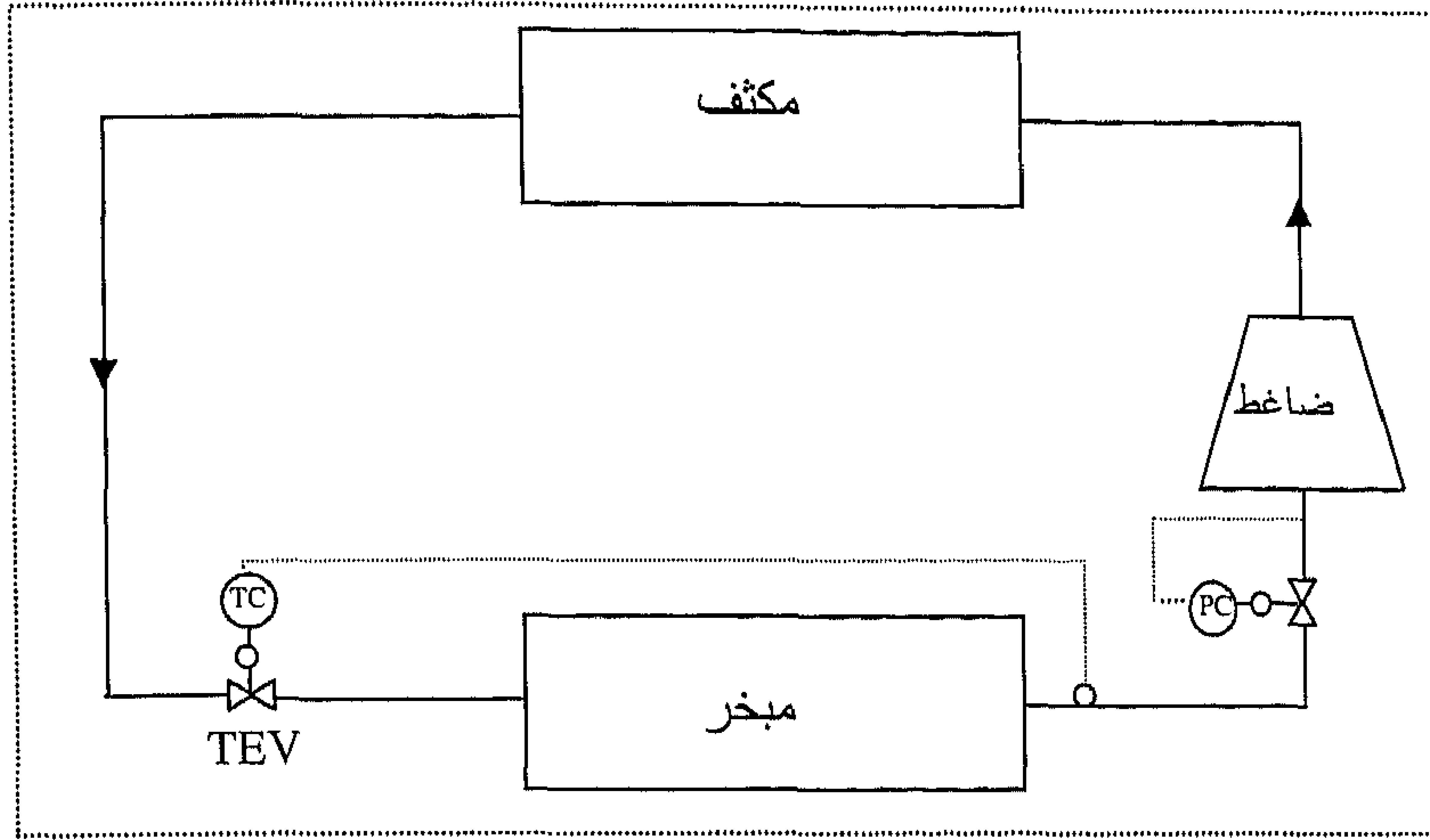
يستخدم للتحكم في الحد الأعلى للضغط عند مدخل الضاغط منظم ضغط المرفق Crankcase Pressure Regulator (CPR) ويسمى أيضاً بمنظم ضغط السحب ويعمل على عدم ارتفاع الضغط عند مدخل الضاغط عن قيمة ضغط التشغيل التي تناسب محرك الضاغط بغض النظر عن قيمة الضغط في المبخر وخط السحب وذلك لوقاية الضاغط من زيادة التحميل. يتم تركيبه في خط السحب قبل الضاغط كما في الشكل رقم (٢,٢٠).

عدة عوامل ممكن أن تتسبب في ارتفاع الضغط عند مدخل الضاغط منها ارتفاع الحمل الحراري على المبخر فوق الحد المسموح. أيضاً يرتفع الضغط عند مدخل الضاغط في فترة ما بعد إذابة الصقيع خاصةً عندما يستخدم الغاز الساخن لإذابة الصقيع. ويحدث ذلك أيضاً عند توقف الضاغط لفترات طويلة نسبياً.

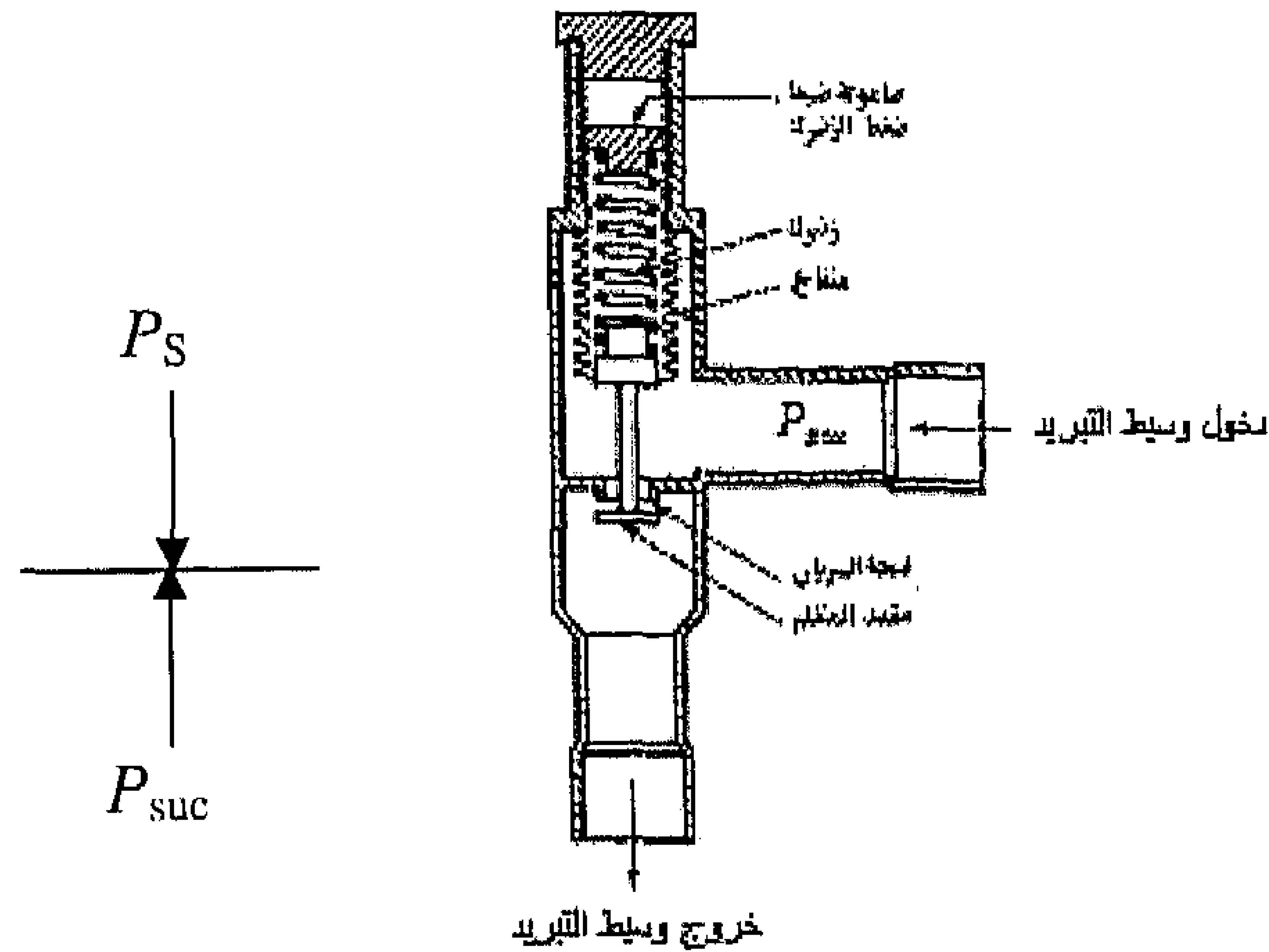
ويتم التحكم في سريان مائع التبريد بقوتين كما في الشكل رقم (٢,٢١):

- الضغط عند مدخل الضاغط (P_{suc}) والذي يعمل في اتجاه الغلق.
- ضغط الزنبرك (P_s) والذي يعمل في اتجاه الفتح.

إذا ارتفع الضغط عند مدخل الضاغط عن قيمة محددة يصبح $P_{suc} > P_S$ فيتحرك الصمام في اتجاه الغلق.



الشكل رقم (٢,٢٠). تركيب منظم ضغط المرفق في دائرة التبريد



الشكل رقم (٢,٢١) منظم ضغط المرفق (السحب) (ref.1).

(٢,٢,٦) التحكم في الحد الأدنى لضغط التكثيف

Controlling lower limit of condensing pressure

الغرض منه:

سعة المكثف المُبرد بالهواء تعتمد على الفرق بين درجة حرارة الجو الخارجي (T_a) ودرجة حرارة المكثّف (T_c). في حالة انخفاض درجة حرارة الجو الخارجي عن قيمة

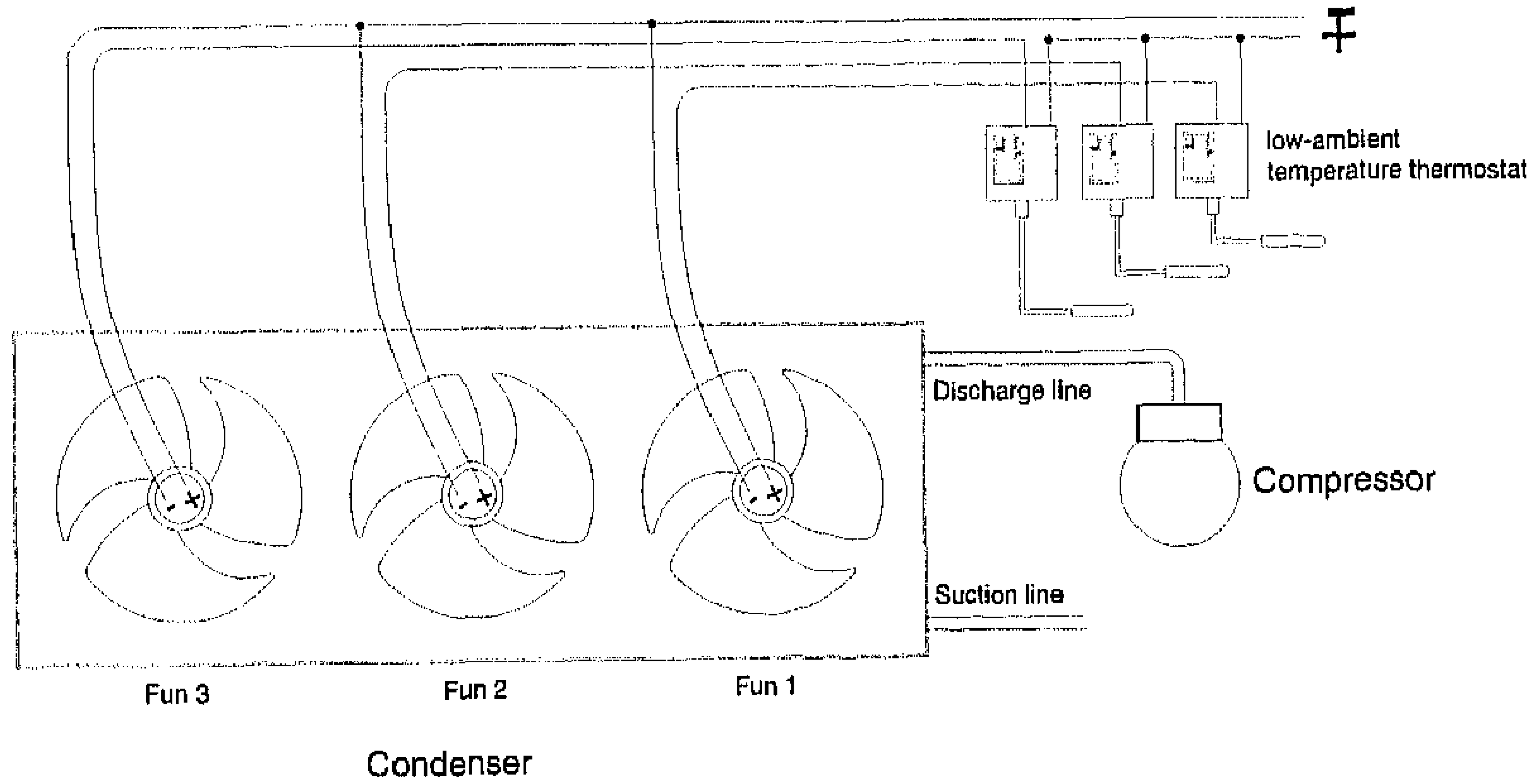
التصميم فان (T_c-T_a) سوف تزيد مما يزيد من سعة المكثف فيزيد معدل التكثيف وبذلك يقل ضغط التكثيف.

في حالة حدوث انخفاض كبير في ضغط التكثيف فإن صمام التمدد لن يغذي المبخر بكمية وسيط التبريد المناسبة ؛ بمعنى أن معدل سريان وسيط التبريد سوف يقل مع انخفاض ضغط التكثيف نتيجة لانخفاض درجة حرارة الجو الخارجي. إذن يجب الحفاظ على حد أدنى لقيمة التكثيف.

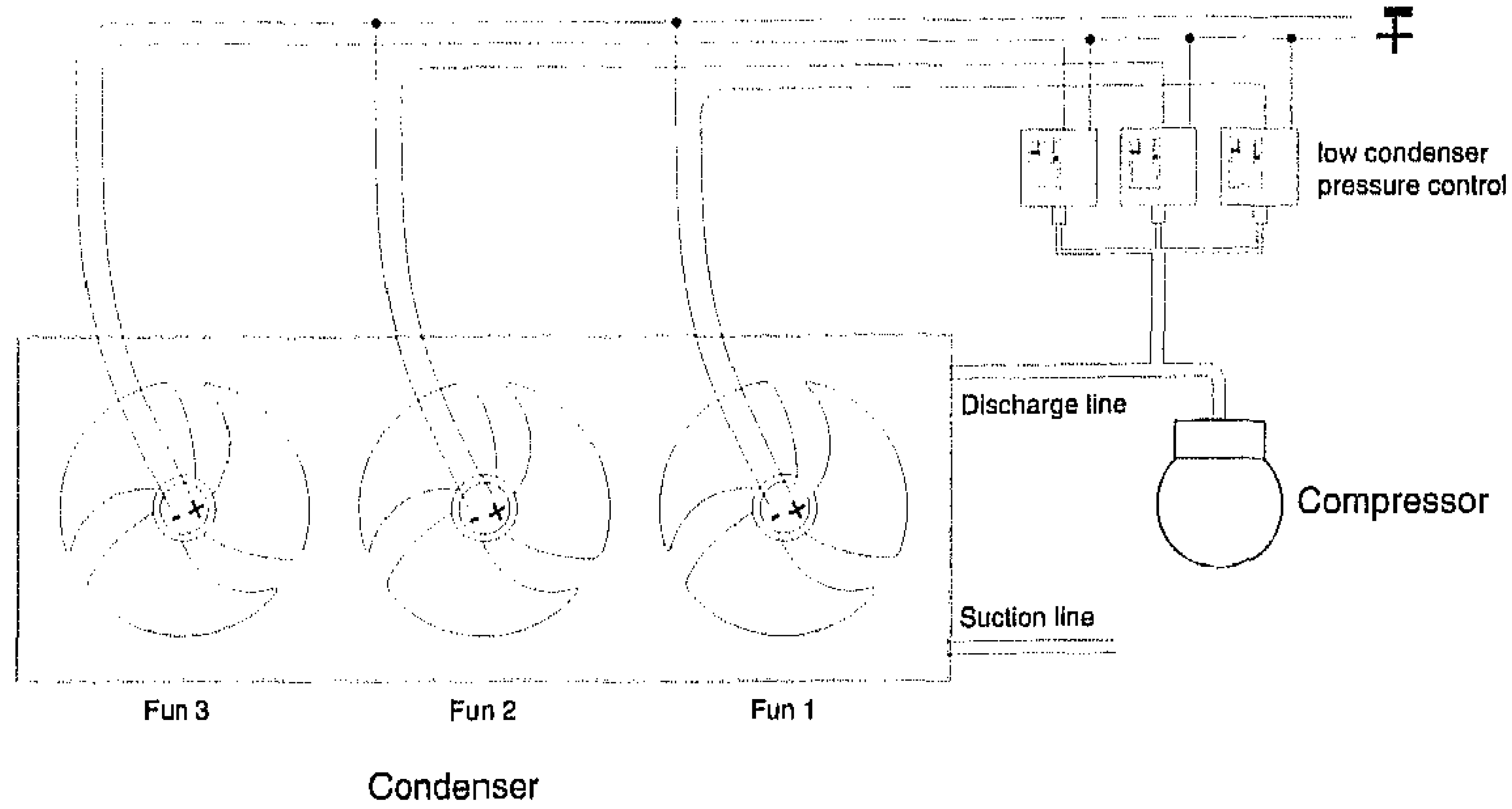
الطرق المستخدمة لتحقيق هذا الغرض هي:

- استخدام مروحة ذات سرعات متعددة هذه الطريقة تشبه الطريقة السابقة ولكن هنا تتحكم الحواس بسرعة المراوح ، بحيث تأخذ المروحة السرعة العالية عندما تكون درجة حرارة الجو الخارجي مرتفعة وتنخفض السرعة بانخفاض درجة حرارة الجو الخارجي ، وهكذا يتم التحكم بكمية الهواء المار خلال المكثف تبعاً لدرجة الحرارة الخارجية أو تبعاً لضغط التكثيف.
- استخدام مكثف بمراوح متعددة بحيث تعمل المراوح معاً عندما تكون درجة حرارة الجو الخارجي مرتفعة وفي حالة انخفاض درجة حرارة الجو الخارجي تتوقف إحدى المراوح وهكذا فتقل كمية الهواء المارة خلال المكثف مع انخفاض درجة حرارة الجو الخارجي وبذلك نحافظ على قيمة دنيا لضغط التكثيف. يتم التحكم بتتابع عمل المراوح (أو سرعة المروحة المتعددة السرعات) باستخدام ثيرموستات درجة حرارة الجو الخارجي المنخفضة (low-ambient thermostat) كما يوضح الشكل رقم (٢,٢٢). يوصل الثيرموستات على التوالي مع المحرك في الدائرة الكهربائية لكل مروحة للتحكم بتشغيل وإيقاف المروحة حسب درجة حرارة الهواء الخارجي. كل ثيرموستات له نقطة ضبط مختلفة تضمن تتابع عمل المراوح تبعاً لتغير درجة الحرارة الخارجية. الطريقة الأخرى للتحكم بتتابع عمل المراوح (أو سرعة المروحة المتعددة

السرعات) تتم باستخدام حاكم ضغط المكثف المنخفض (low condenser pressure control) كما يوضح الشكل رقم (٢,٢٣). هذا الحاكم يعمل بنفس مبدأ قاطع الضغط المنخفض – أحد أدوات السلامة التي سبق الحديث عنه – ولكن يعمل عند ضغط أعلى يتناسب مع ضغط التكثيف. يوصل أنبوب رفيع من خط الطرد لحاكم مروحة الضغط المنخفض. كل حاكم له نقطة ضبط مختلفة تضمن تتابع عمل المراوح تبعا لتغير الضغط في خط الطرد بحيث تخرج كل مروحة على حدة مع انخفاض الضغط ويعاد تشغيلها مرة أخرى عند ارتفاع الضغط. من الضروري عند ضبط مدى الضغط الذي تعمل عنده مراوح المبخر أن يكون أقل من نقطة ضبط قاطع الضغط العالي high pressure cut-out حتى لا يحدث تداخل بينهما. مثلا إذا كانت مراوح المبخر تعمل في المدى من 8.5 إلى 12 bar فسوف يفصل قاطع الضغط العالي عند 17 bar ، وبالتالي سوف تعمل المراوح بطاقتها الكاملة عند 12 bar إلى أن يفصل قاطع الضغط العالي عند 17 bar .



الشكل رقم (٢,٢٢). استخدام ثيرموستات درجة حرارة الجو الخارجي المنخفضة للتحكم بتتابع تشغيل مراوح المكثف.



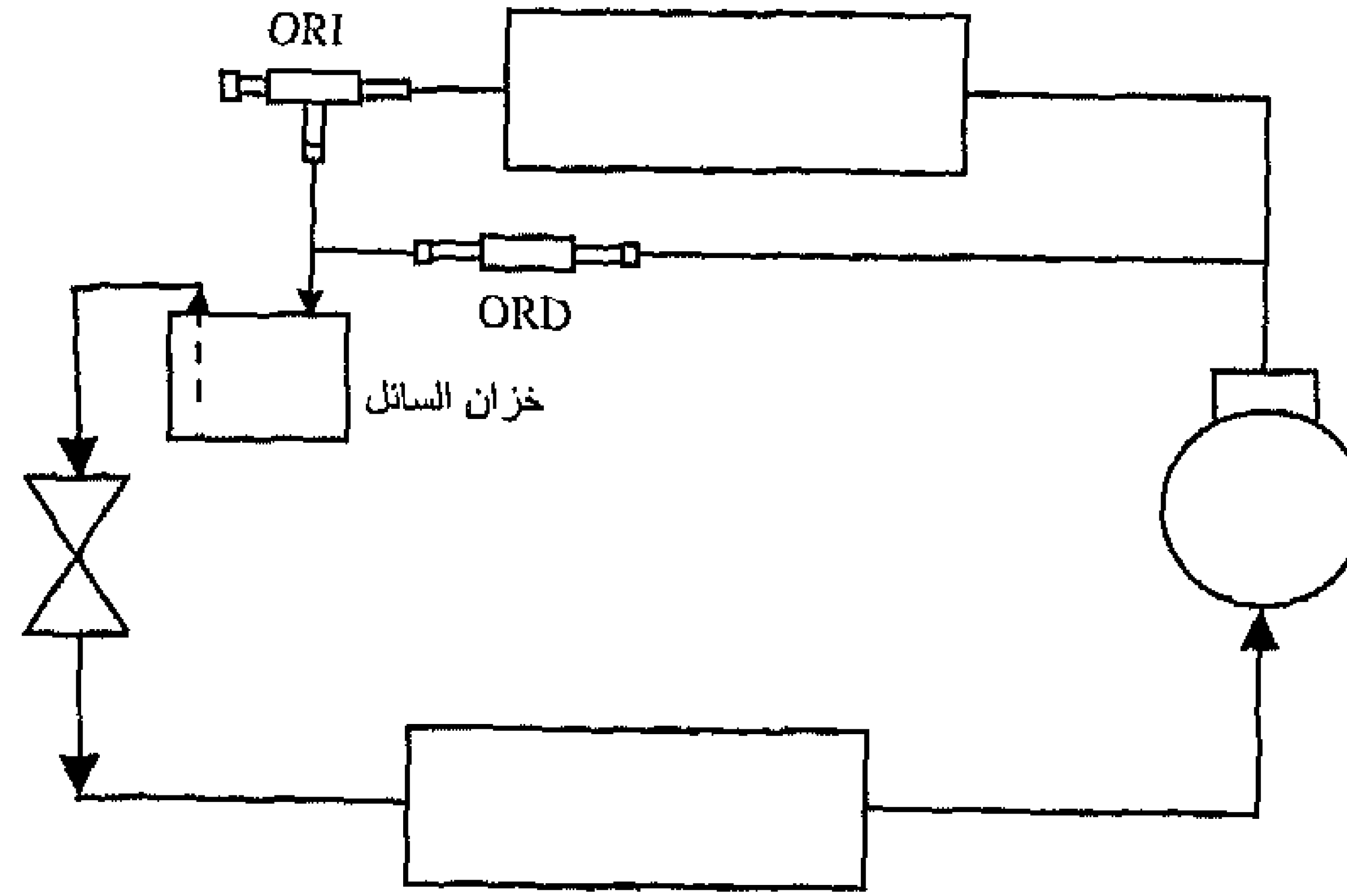
الشكل رقم (٢,٢٣). استخدام حاكم ضغط المكثف المنخفض للتحكم بتتابع تشغيل مراوح المكثف.

- استخدام منظم ضغط المكثف. هذا يتطلب وجود خزان سائل (liquid receiver) في خط السائل. هناك نوعان من المنظمات. أحدهما قابل للضبط والآخر غير قابل للضبط.

المنظم القابل للضبط يتكون من صمامين كما في الشكل رقم (٢,٢٤) احدهما ORI يُركب بين المكثف وخزان السائل. يتحكم في هذا الصمام قوتان:

- زنبرك قابل للضبط.
- ضغط المكثف.

يعمل الصمام في اتجاه الغلق في حالة انخفاض ضغط التكثيف نتيجة لانخفاض درجة الحرارة الخارجية.



الشكل رقم (٢,٢٤). تركيب المنظمين ORI وORD في دائرة التبريد.

والصمام الآخر ORD يركب في خط يربط بين خط الطرد وخزان السائل. يتحكم في هذا الصمام قوتان:

- ضغط الغاز في خط الطرد.
- ضغط وسيط التبريد عند مدخل الخزان.

يبدأ الصمام ORD في تمرير الغاز إلى الخزان عندما يكون الضغط عند مخرجه أقل من الضغط. عند مدخله بـ 1.5 bar على الأقل ويكون في حالة الفتح التام عندما يكون الفرق 2.5 bar

إذا في حالة انخفاض ضغط التكثيف والذي يكون نتيجة لانخفاض درجة الحرارة الخارجية ينخفض معدل سائل وسيط التبريد المار إلى الخزان من المكثف ويزيد معدل الغاز القادم من خط الطرد للحفاظ على عدم انخفاض الضغط داخل خزان السائل وبذلك يكون الضغط عند مدخل وسيلة التمدد عند قيمة التصميم المناسبة لمعدل السريان المنشود.

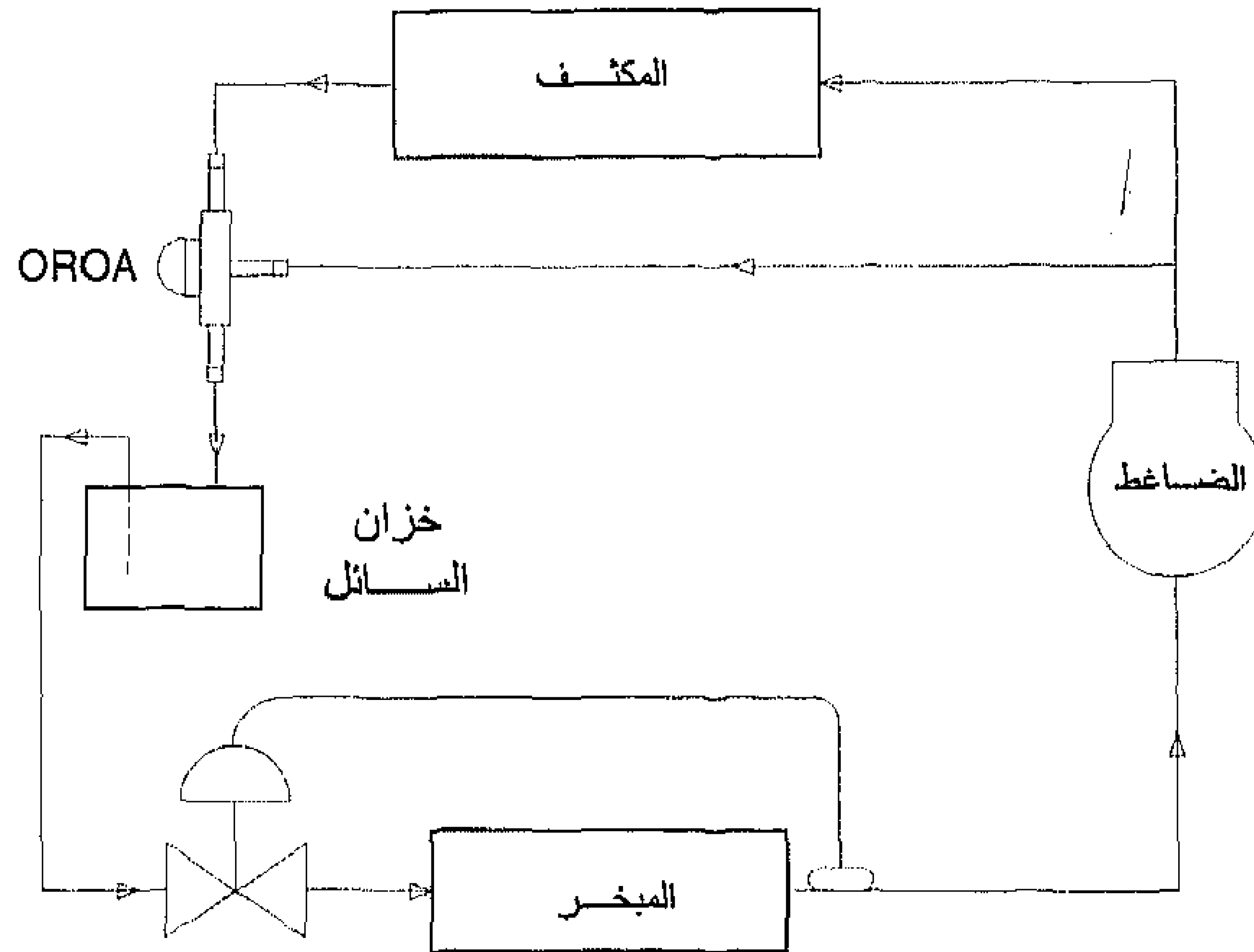
المنظم غير القابل للضبط يتكون من صمام واحد OROA، كما هو موضح في الشكل رقم (٢,٢٥)، يؤدي نفس وظيفة المنظمين ORI وORD معاً.

هذا المنظم له مدخلان أحداهما يتصل بالمكثف والآخر يتصل بخط الطرد والمخرج يتصل بخزان السائل. يتحكم بهذا المنظم قوتان متضادتان:

- ضغط الهواء المحبوس في رأس الصمام ويعمل في اتجاه غلق المدخل القادم من المكثف وفتح المدخل القادم من خط الطرد. أي يعمل على خفض السائل القادم من المكثف وزيادة الغاز القادم من خط الطرد.

- الضغط عند مدخل خزان السائل ويؤدي ارتفاعه إلى زيادة تمرير السائل وخفض الغاز.

ويعمل بالطريقة الآتية: في حالة انخفاض درجة حرارة الجو الخارجي، وانخفاض ضغط التكثيف فإن الضغط عند مخرج الصمام (الضغط في الخزان) ينخفض فتكون القوة الناتجة من ضغط الهواء المحبوس في رأس الصمام أكبر من الضغط عند مدخل خزان السائل فيعمل الصمام على تمرير الغاز بصورة أكبر وتمرير السائل بصورة أقل، والحفاظ على عدم انخفاض الضغط داخل خزان السائل، وبذلك يكون الضغط عند مدخل وسيلة التمدد عند قيمة التصميم المناسبة لمعدل السريان المنشود.

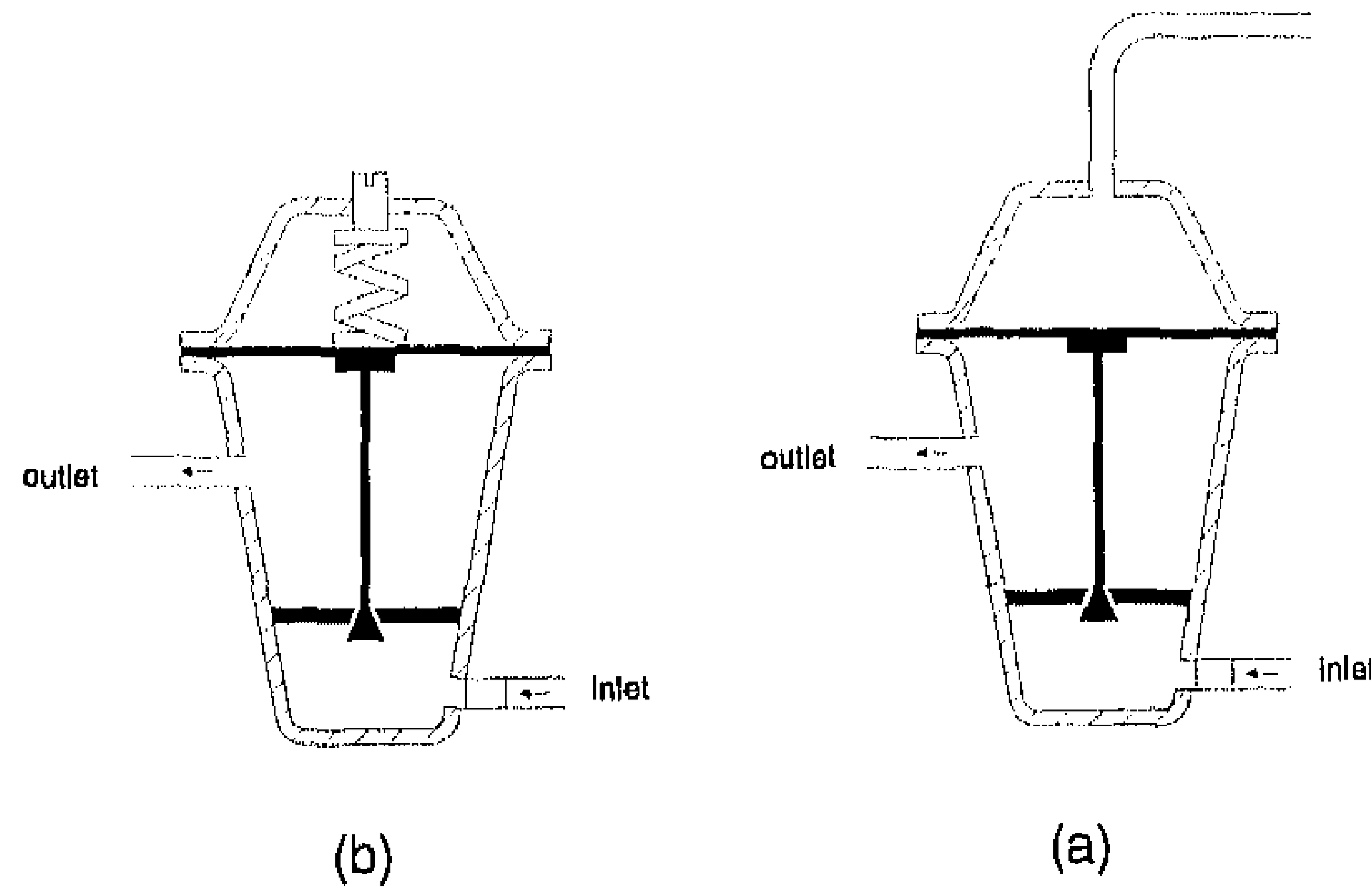


الشكل رقم (٢,٢٥). تركيب منظم OROA في دائرة التبريد.

(٢,٢,٧) التحكم في ضغط التكثيف Condensing pressure control

يمكن أيضاً التحكم في قيمة ضغط التكثيف بحيث لا يقل ولا يزيد عن مدى محدد في المكثفات المبردة بالماء باستخدام صمام منظم الماء (Water-Regulating Valve)

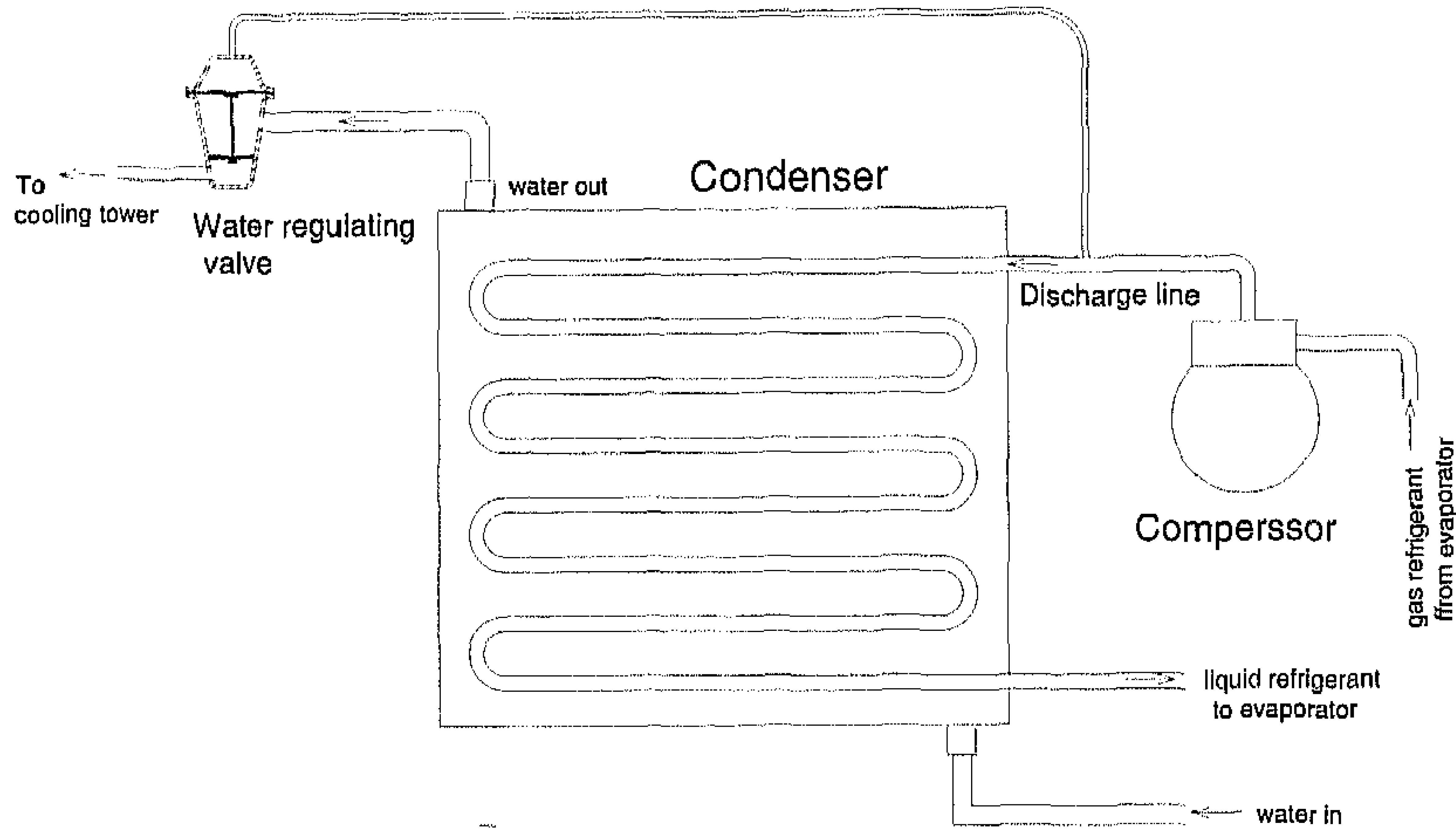
يوضح الشكل رقم (٢,٢٦) الأجزاء الداخلية لصمام منظم الماء. هذا الصمام يشبه صمام التمدد الأوتماتيكي لتنظيم سريان وسيط التبريد للمبخر حيث يتحكم به قوتان قوة الزنبرك وتعمل على فتح الصمام وقوة ضغط الماء الذي يعمل على غلق الصمام كما في الشكل رقم (b٢,٢٦).



الشكل رقم (٢,٢٦).صمام منظم الماء. يتم التحكم عن طريق:
(a) ضغط غاز وسيط التبريد (b) زنبرك قابل للضبط.

يعمل الصمام على التحكم في الضغط عند جانب الصمام (غالبا جانب الدخول) بغض النظر عن قيمته في الجانب الآخر (جانب الخروج). قوة الزنبرك قد تستبدل بضغط الغاز كما في الشكل رقم (a٢,٢٦) لربط مقدار فتح الصمام بالتغير في الضغط عند نقطة ما. على سبيل المثال يتم وضع الصمام عند مخرج الماء من المكثف كما يوضح الشكل رقم (٢,٢٧) ويتم ربط الجزء العلوي من الصمام بخط الطرد لدائرة

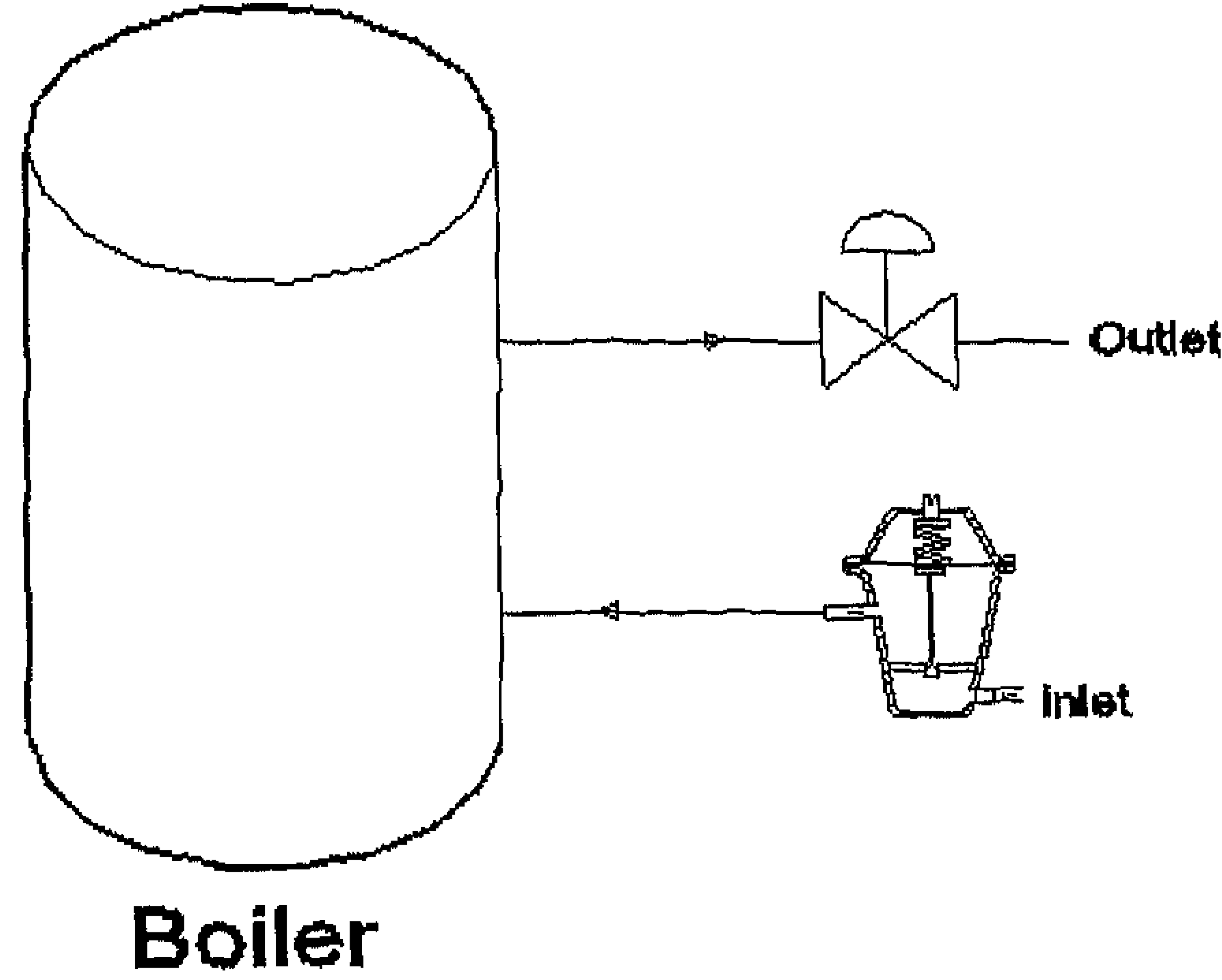
التبريد بحيث يعمل ضغط الطرد على فتح الصمام في حالة ارتفاع الضغط وفي المقابل يعمل ضغط الماء في المكثف على غلق الصمام. إذا يحصل الاتزان عندما يكون الضغط تحت الغشاء مساوي للضغط فوق الغشاء. عندما يزيد ضغط الطرد يصبح الضغط فوق الغشاء أكبر، وبذلك يفتح الصمام لزيادة معدل سريان الماء فيرتفع الضغط تحت الغشاء وتحصل حالة اتزان جديدة تتناسب مع ضغط التكثيف الجديد وهكذا يحافظ صمام منظم ضغط الماء على ضغط ثابت للتكثيف بتنظيم معدل سريان الماء.



الشكل رقم (٢,٢٧). استخدام صمام منظم الماء في المكثف المبرد بالماء.

أيضاً **يمكن استخدام صمام منظم الماء** للتحكم بالضغط في الغلاية بغض النظر عن الضغط عند المصدر يركب صمام منظم الماء عند مدخل الماء إلى الغلاية كما يوضح الشكل رقم (٢,٢٨). يمكن ضبط معدل السريان بحيث يتناسب مع الضغط المراد في الغلاية، وحماية الغلاية من زيادة الضغط عند المصدر والذي قد يصل في بعض أنظمة التسخين إلى (5 bar). يستخدم مسمار الضبط لتحديد الضغط المناسب

الذي يكون غالبا عند 1 bar. الجدير بالذكر أن الغلايات تزود بصمام أمان في حالة ارتفاع الضغط عن الحد المسموح به.



الشكل رقم (٢,٢٨). استخدام صمام منظم الماء في الغلاية.

(٢,٢,٨) التحكم في السعة التبريدية Refrigeration Capacity Control

في التطبيقات التي يكون فيها التغير في الحمل صغيراً، تكون الاستجابة للتغير في الحمل عن طريق الثيرموستات حيث يتم إيقاف الضاغط في حالة أن درجة حرارة الحيز انخفضت عن قيمة معينة ويعاد تشغيلة إذا ارتفعت درجة حرارة المكان عن قيمة معينة.

لكن **في التطبيقات التي يكون فيها التغير في الحمل كبيراً** بحيث إن الحمل في فترات قصيرة يكون كبيراً وفي فترات أخرى طويلة يكون الحمل صغيراً ، يصمم

الضاغط بحيث يتناسب مع الحمل الكبير، وبذلك فإن السعة التبريدية لا تتناسب مع الحمل الصغير والذي يكون في معظم فترات التشغيل.

طريقة إيقاف الضاغط وإعادة تشغيله في مثل هذه الحالة عن طريق الثيرموستات ليست عملية؛ لأن فترة إيقاف الضاغط (في فترات الحمل المنخفض) سوف تكون طويلة مما يؤدي إلى ارتفاع الرطوبة في المكان المبرد وبالتالي التأثير على المنتج. عوضاً عن إيقاف الضاغط في فترات الحمل المنخفضة، يتم التحكم بالسعة التبريدية بحيث تكون أقل في فترات الحمل المنخفض.

يتم التحكم في السعة التبريدية بعدة طرق منها: استخدام طريقة الإمرار الجانبي اللغاز الساخن وطريقة التحكم في سعة المبخر والتحكم في سعة الضاغط والأنظمة المستقلة.

١- الإمرار الجانبي للغاز الساخن Hot Gas Bypass

يمكن التحكم بالسعة من خلال استخدام ممر جانبي لتمرير بعض الغاز من خط الطرد إلى جانب الضغط المخفض عندما يقل الضغط في خط السحب عن قيمة محددة.

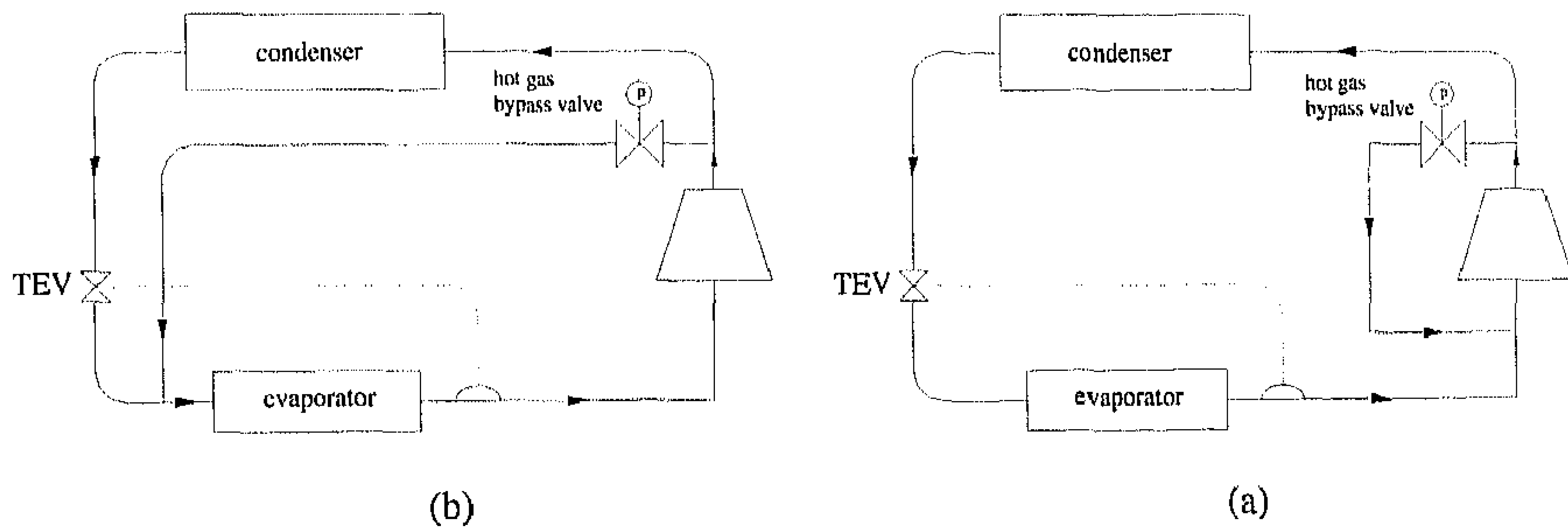
يتم ذلك أما بتمرير الغاز الساخن من خط الطرد إلى خط السحب (الشكل رقم a٢,٢٩) أو بتمرير الغاز الساخن من خط الطرد إلى مدخل المبخر (الشكل رقم ٢,٢٩ b).

يتحكم في كمية الغاز المُمرر صمام تحكم تمدد أوتماتيكي أو صمام يكون معد لهذا الغرض. من عيوب هذه الطريقة أن قيمة التحميص للغاز الداخل للضاغط تكون أكبر نسبياً أثناء فترة انخفاض الحمل منها في حالة الحمل العالي مما يؤدي إلى زيادة الشغل على الضاغط وأهم من ذلك عدم تبريد الضاغط بشكل كافٍ، حيث إن درجة حرارة الغاز تكون مرتفعة نوعاً ما.

لجعل قيمة التحميص أقل يصمم الممر الجانبي بحيث تكون نقطة توصيل خط الغاز القادم من خط الطرد مع خط السحب عند مخرج المبخر وقبل البصيلة بحوالي مسافة 3 ft بدلا من توصيله بعد البصيلة.

وبذلك تكون الحرارة عند موضع البصيلة مرتفعة نسبياً مما يؤدي إلى فتح الصمام وضخ وسيط تبريد أكبر فيختلط بالغاز الساخن القادم من الممر التجنيبي ويخفض من مقدار تحميصه قبل دخوله إلى الضاغط. بتمرير الغاز الساخن من خط الطرد إلى مدخل المبخر (الشكل رقم ٢,٢٩ b) نزيد الحمل التبريدي الوهمي على المبخر في حالة انخفاض الحمل التبريد الحقيقي.

في جميع هذه الترتيبات ، يتناسب معدل الغاز الساخن المُمرر الى خط السحب او مدخل المبخر مع الحمل الحراري. في حالة زيادة الحمل الحراري يقل معدل الغاز المُمرر وفي حالة انخفاض الحمل الحراري يزيد الغاز المُمرر وهكذا يحصل التحكم بالسعة التبريدية.



الشكل رقم (٢,٢٩). تركيب الممر التجانبي للغاز في دورة التبريد.

٢- التحكم في سعة المبخر Evaporator capacity control

استخدام مبخر بعدة مسارات متوازية بحيث يتم التحكم في مرور وسيط التبريد في جميع أجزاء المبخر أو بعضه على حسب الحمل الحراري فمثلا عندما يكون الحمل

كبيراً يُمرر وسيط التبريد في جميع أجزاء المبخر ولكن عندما يقل الحمل الحراري يُمنع وصول وسيط التبريد إلى بعض أجزاء المبخر عن طريق صمامات، وبذلك لا يتعرض جميع الهواء المار خلال المبخر إلى برودة.

يمكن أيضاً التحكم بالسعة عن طريق استخدام مروحة متعددة السرعات وبالتالي التحكم بكمية الهواء المار خلال المبخر بحيث تقل سرعة المروحة عندما يقل الحمل الحراري أيضاً يمكن إمرار بعض الهواء في ممر جانبي حتى لا يتعرض جميع الهواء إلى سطح المبخر عندما يقل الحمل الحراري.

٣- التحكم في سعة الضاغط compressor capacity control

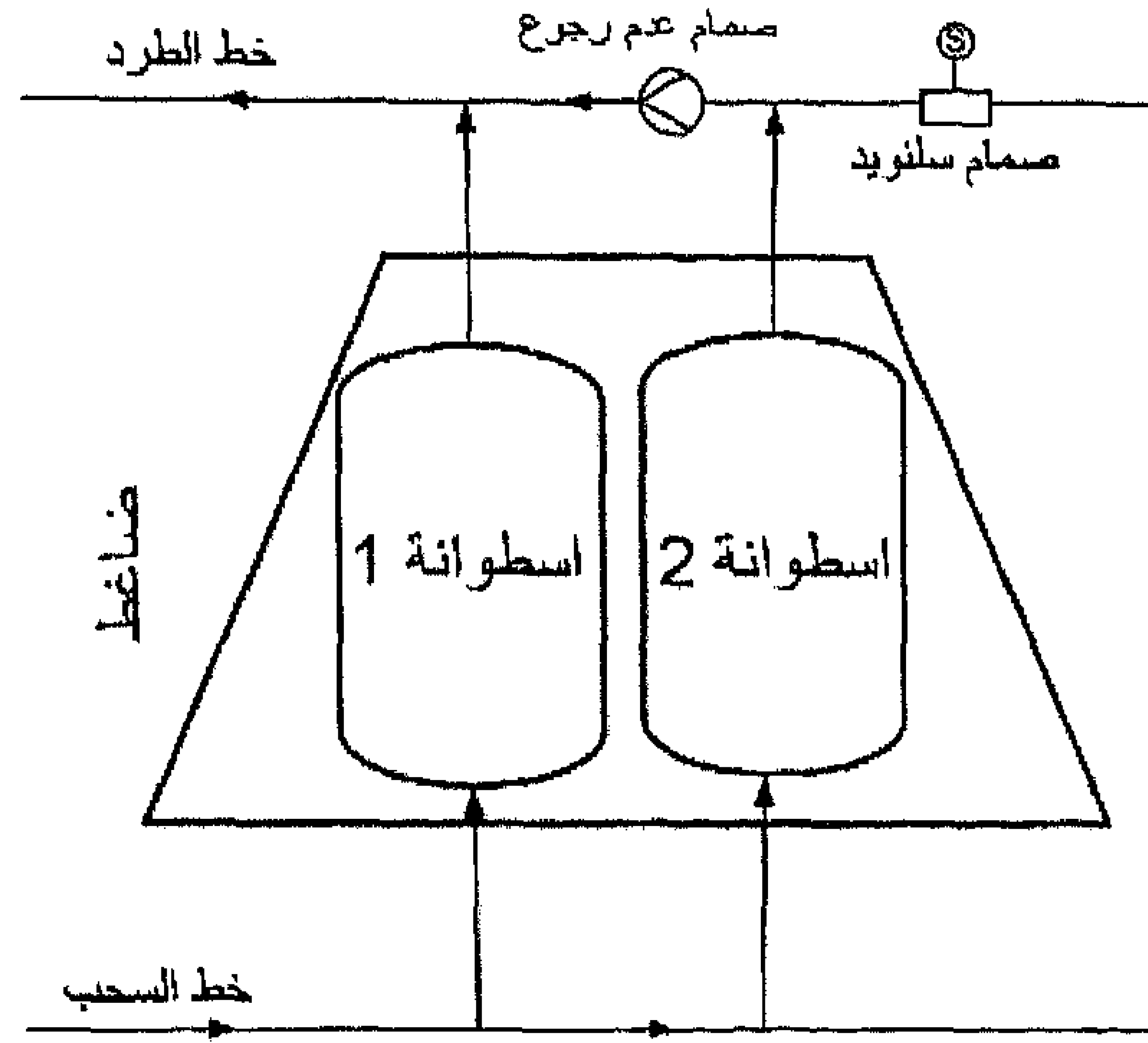
التحكم في سعة الضاغط يكون بعدة طرق :

- الضاغط المتعدد السرعات.
- الضاغط المتعدد الأسطوانات.
- النظام المتعدد الضواغط.
- منظومة متعدد الأنظمة .

الضاغط المتعدد السرعات: بهذه الطريقة يتم التحكم بمعدل سريان وسيط التبريد تبعا للحمل الحراري حيث تم التحكم في سرعة الضاغط عن طريق ثيرمستات يحس بدرجة حرارة الحيز.

عند زيادة درجة حرارة الحيز، يكون الضاغط عند أعلى سرعة، وبذلك يكون معدل سريان وسيط التبريد في المبخر كبيراً يتناسب مع الحمل الحراري.

عند انخفاض درجة الحرارة تنخفض سرعة الضاغط فيكون معدل سريان وسيط منخفضاً أيضاً يتناسب مع الحمل الحراري وهكذا.

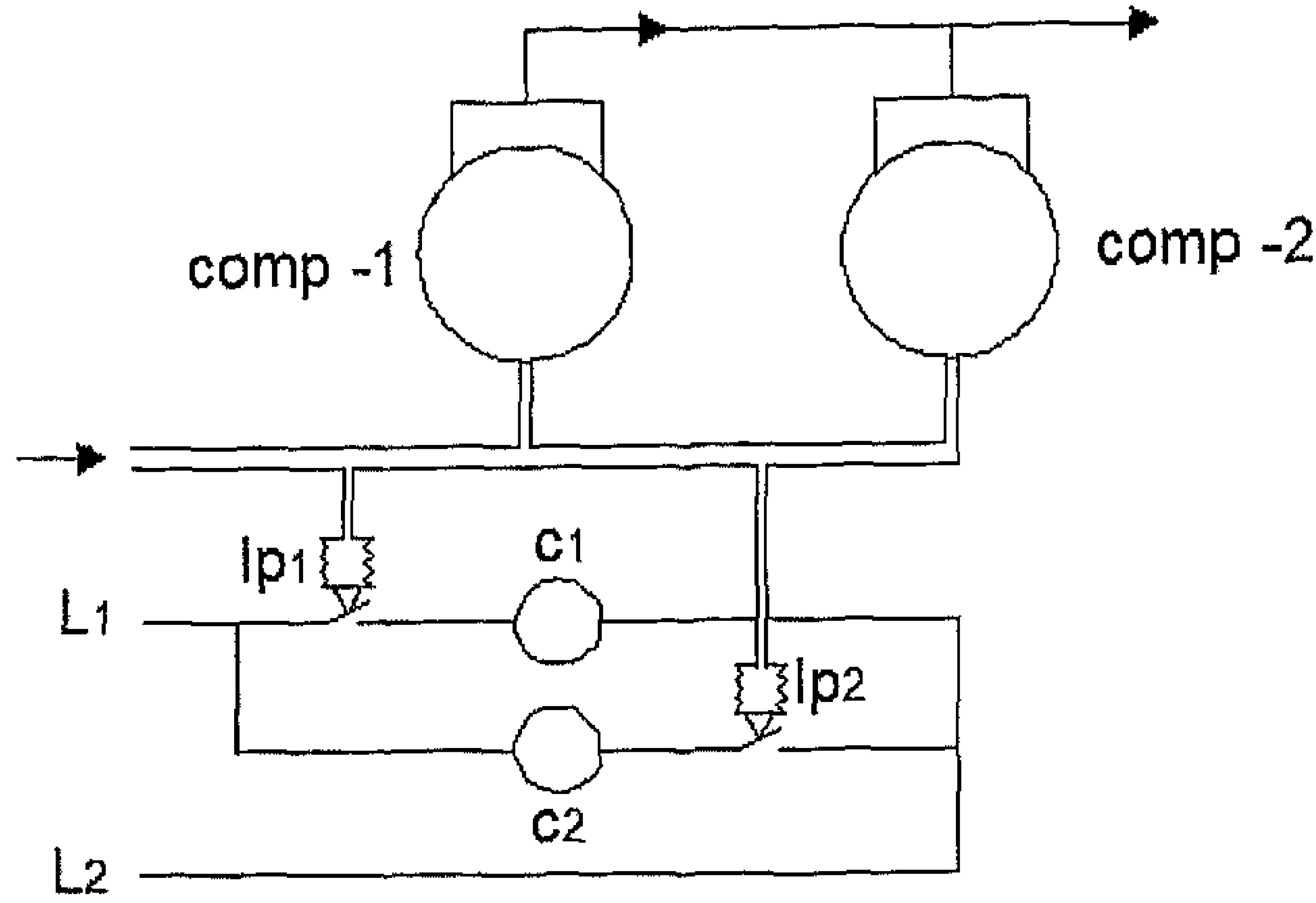


الشكل رقم (٢,٣٠). ضاغط متعدد الأسطوانات.

الضاغط المتعدد الأسطوانات: كل أسطوانة لها مخرج منفصل مزود بصمام عدم رجوع. يتم وضع صمام سلنويد (solenoid valve) في ممر جانبي يربط خط الطرد لإحدى الأسطوانات بخط السحب كما هو موضح في الشكل رقم (٢,٣٠).

يكون صمام السلنويد مغلق في حالة أن ضغط خط السحب أكبر من نقطة الضبط (cut-in setting control)، وبذلك تضخ كل الأسطوانات غاز وسيط التبريد إلى خط الطرد.

عند انخفاض ضغط خط السحب تحت نقطة الضبط يفتح الصمام فيكون خط الطرد لهذه الاسطوانة مفتوحاً على خط السحب ومعزولاً عن خط الطرد بصمام عدم رجوع فيعود الغاز إلى خط السحب فتقل كمية سائل وسيط التبريد المار إلى المبخر عند انخفاض الحمل الحراري وبذلك يتناسب معدل سريان وسيط التبريد في المبخر مع الحمل الحراري. هذه الطريقة في التحكم بالسعة التبريدية تشبه طريقة الإمرار الجانبي للغاز الساخن.



الشكل رقم (٢,٣١). نظام تبريد متعدد الضواغط.

النظام المتعدد الضواغط: استخدام أكثر من ضاغط على التوازي كما هو موضح في الشكل رقم (٢,٣١) لكل منها فاصل ضغط منخفض له نقطة ضبط مختلفة بحيث إنه عند انخفاض الحمل وانخفاض الضغط في خط السحب يفصل إحدى الضواغط ويبقى الآخر في وضع التشغيل.

في حالة استمرار انخفاض الضغط يفصل قاطع الضغط المنخفض الضاغط الآخر وهكذا. بهذه الطريقة يتم التحكم بالسعة التبريدية بالتحكم بكمية وسيط التبريد المنضخة خلال نظام التبريد بما يتناسب مع الحمل الحراري في المبخر.

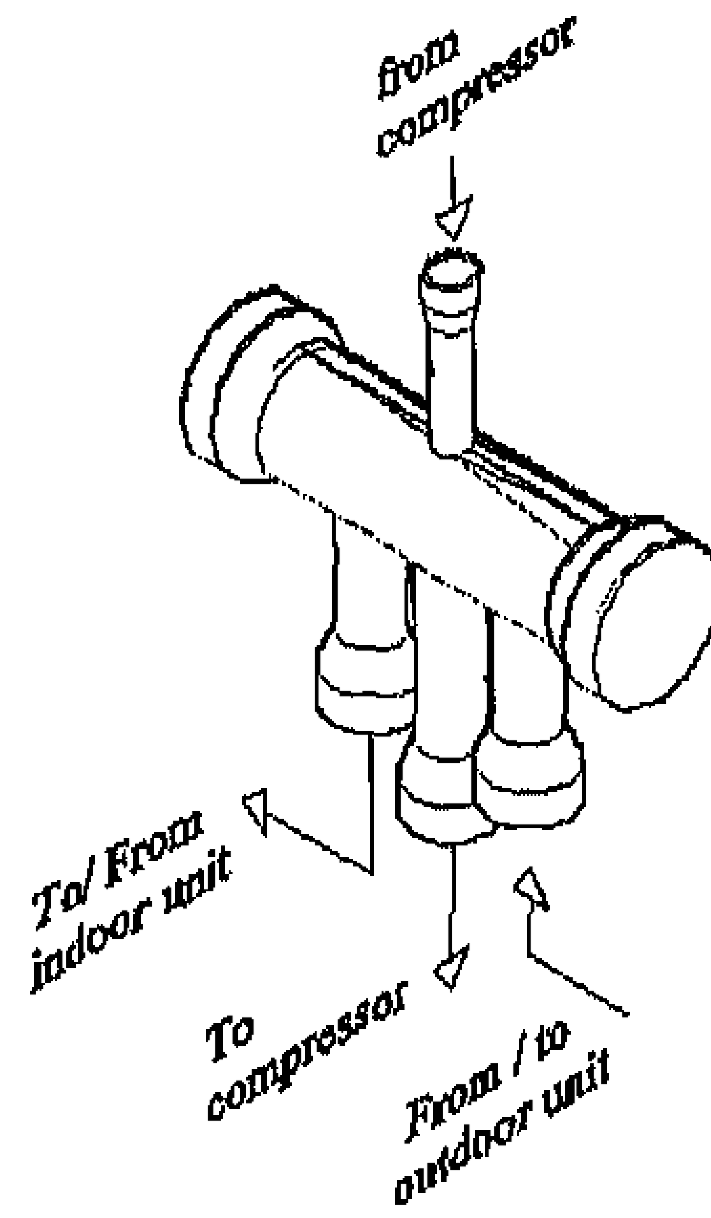
منظومة متعددة الأنظمة: في أنظمة التكييف المركزية الحديثة يتم التحكم في السعة التبريدية باستخدام جميع الطرق المذكورة معا بحيث يتم بناء منظومة التبريد من عدة ضواغط وعدة مبخرات وعدة مكثفات وصمامات تمدد تشكل منظومات تبريد مستقلة تعمل معا على التوازي. جميع منظومات التبريد تعمل خلال الحمل القصوي، وفي حالة الحمل الجزئي تخرج بعض الأنظمة مؤقتا إلى أن يرتفع الحمل الحراري فتعود من جديد . يمكن استخدام درجة حرارة رجوع الماء إلى التشلر (chiller) للتحكم في

تتابع عمل هذه الأنظمة. هذه الطريقة في التحكم بالسعة التبريدية تسمح باستمرار عمل منظومة التبريد حتى عند عمل إجراءات الصيانة لأحد أنظمة التبريد نظرا لاستقلاليتها.

(٢,٢,٩) التحكم في مسار وسيط التبريد refrigerant direction control

الغرض: يمكن تغيير مسار التبريد خلال مروره في منظومة التبريد لتعمل كمضخة حرارية لغرض تدفئة الحيز بدلا من تبريده. يتحقق ذلك باستخدام **الصمام العاكس** (Reversing Valve).

الصمام العاكس عبارة عن صمام يحتوي على أربع فتحات كما يوضح الشكل رقم (٢,٣٢). الفتحة العلوية توصل إلى الضاغط والفتحة في المنتصف السفلي توصل مع مدخل الضاغط والفتحة اليمنى توصل إلى الوحدة الخارجية (المكثف) واليسري إلى الوحدة الداخلية (المبخر).



الشكل رقم (٢,٣٢). صمام عاكس.

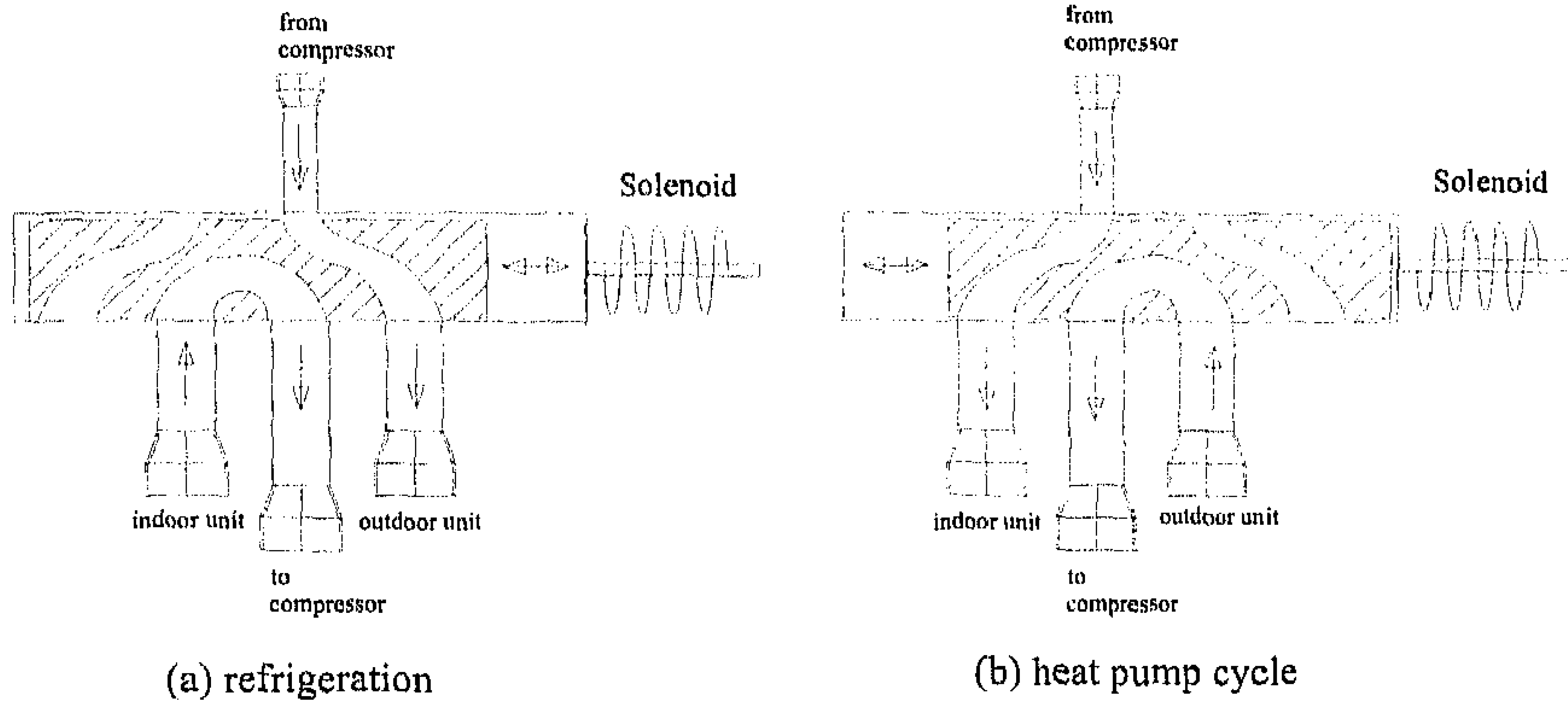
يستخدم الصمام العاكس في منظومة التبريد لعكس دورة وسيط التبريد لتصبح مضخة حرارية بفعل صمام كهرومغناطيسي (سلونويد) يمكن التحكم فيه يدويا.

يتحكم الصمام الكهرومغناطيسي بقلب الصمام الداخلي الذي يحتوي على مجاري داخلية تربط الفتحات حسب استخدام المنظومة.

في فصل الصيف تعمل منظومة التبريد على الإبقاء على درجة حرارة الحيز المكيف من الارتفاع نتيجة ارتفاع درجة الحرارة الخارجية ونتيجة وجود الأحمال الداخلية بتبريد هواء الحيز وبالتالي تعمل الوحدة الداخلية عمل المبخر والوحدة الخارجية عمل المكثف بحيث يخرج وسيط التبريد من الضاغط إلى الوحدة الخارجية ليتكثف، ومنها عبر صمام التمدد لخفض الضغط إلى الوحدة الداخلية لتبريد هواء الحيز ثم إلى الضاغط كما يوضح الشكل رقم (a٢،٣٣) حيث يكون قلب الصمام في وضع يجعل الفتحة الموصلة بالوحدة الداخلية تفتح على الفتحة الموصلة بمدخل الضاغط والفتحة الموصلة بخط الطرد للضاغط موصلة بالوحدة الخارجية.

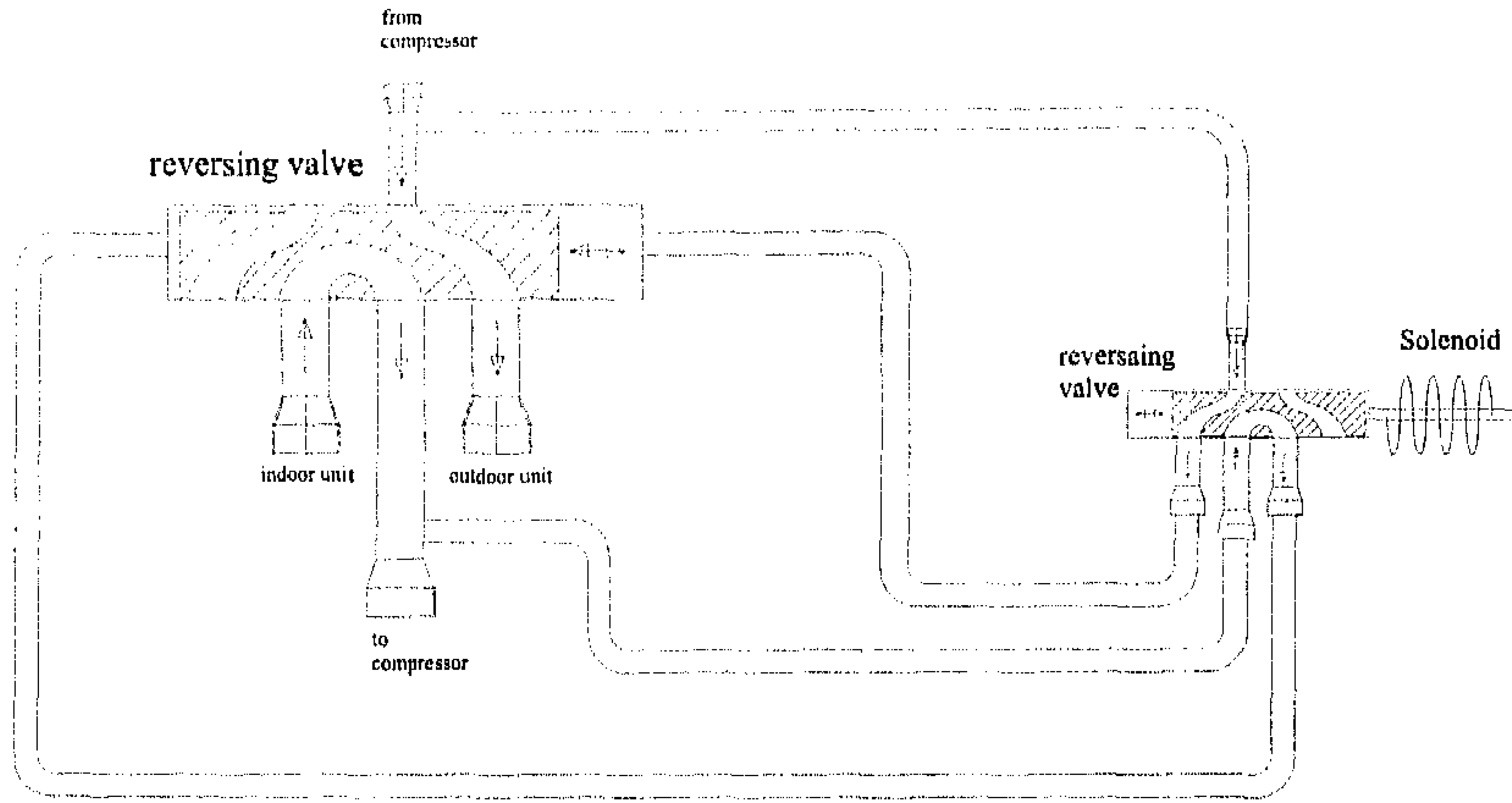
في فصل الشتاء تعمل منظومة التبريد عمل المضخة الحرارية ؛ تعمل على الإبقاء على درجة حرارة الحيز المكيف من الانخفاض نتيجة انخفاض درجة الحرارة الخارجية وذلك بتسخين هواء الحيز فتعمل الوحدة الداخلية عمل المكثف والوحدة الخارجية عمل المبخر بحيث يخرج وسيط التبريد من الضاغط إلى الوحدة الداخلية لتدفئة هواء الحيز ومنها عبر صمام التمدد لخفض الضغط إلى الوحدة الخارجية ثم إلى الضاغط كما يوضح الشكل رقم (b٢،٣٣) حيث يكون قلب الصمام في وضع يجعل الفتحة الموصلة بالوحدة الخارجية تفتح على الفتحة الموصلة بمدخل الضاغط والفتحة الموصلة بخط الطرد للضاغط موصلة بالوحدة الداخلية.

القوة المغناطيسية المتولدة من الملف الكهرومغناطيسي (السلونويد) تستطيع بشكل مباشر التحكم في الصمام العاكس في تطبيقات التبريد الصغيرة.



الشكل رقم (٢.٣٣). وضع الصمام العاكس في حالة التبريد وفي حالة التدفئة.

أما في التطبيقات الكبيرة فإن التحكم يكون بشكل غير مباشر بواسطة تحكم دليلي (PILOT PORTS) حيث يستخدم صمامين عاكسين احدهما غير مباشر يتحكم فيه الملف الكهرومغناطيسي والآخر صمام عاكس مباشر يتحكم به الصمام العاكس غير المباشر كما يوضح الشكل رقم (٢,٣٤). يوصل أنبوب من خط الطرد إلى الفتحة العليا للصمام العاكس المباشر و يوصل أحد فتحات الصمام العاكس المباشر السفلي إلى أحد جانبي الأسطوانة الرئيسة للصمام العاكس المباشر والأخرى إلى الجانب الآخر وتوصل الفتحة الوسطى السفلى للصمام غير المباشر إلى خط السحب. بهذه الطريقة يعمل الصمام المباشر بفعل فرق الضغط بين الطرد والسحب بغض النظر عن وضع قلب الصمام غير المباشر. الوضع المبين في الشكل يجعل غاز وسيط التبريد من الطرد يحرك الصمام بحيث يربط الفتحات للصمام المباشر لتصبح منظومة تبريد.



الشكل رقم (٢.٣٤). التحكم في الصمام العاكس في تطبيقات التكييف الكبيرة.

مسائل نظرية:

١- اذكر سببين لاستخدام فاصل الضغط المنخفض.

٢- اذكر سببين لاستخدام قاطع الضغط العالي.

٣- أين يتم تركيب فاصل الضغط المنخفض في الدائرة الميكانيكية وفي الدائرة الكهربائية للضاغط؟

٤- أين يتم تركيب فاصل الضغط العالي في الدائرة الميكانيكية وفي الدائرة الكهربائية للضاغط؟

٥- اشرح مع الرسم دائرة الضخ التحتي وما هو دور فاصل الضغط المنخفض فيها؟

٦- اذكر ثلاثة أسباب لانخفاض ضغط التبخير.

٧- اذكر ثلاثة أسباب لانخفاض ضغط التكثيف.

٨- ما هو الغرض من استخدام قاطع ضغط الزيت الفرقي؟

٩- اشرح وظيفة فاصل ضغط الزيت الفرقي في الشكل رقم (٢,٤).

١٠- اذكر بعض التطبيقات التي تتطلب التحكم في درجة حرارة المبخر.

١١- ما هو الفرق بين منظم ضغط المبخر وصمام التمدد الأوتماتيكي؟

١٢- اذكر مع الرسم القوى المؤثرة على منظم ضغط المبخر.

١٣- اذكر مع الرسم القوى المؤثرة على صمام التحكم في درجة حرارة المبخر.

١٤- اذكر الغرض من الحفاظ على عدم انخفاض ضغط التكثيف عن قيمة التصميم.

١٥- كيف يتم التحكم في ضغط التكثيف عن طريق استخدام مكثف متعدد المراوح؟

١٦- اذكر الغرض من استخدام الصمام العاكس وكيف يكون التحكم فيه؟

مسائل حسابية:

١- عند استخدام وسيط تبريد R717 ما ضغط التكثيف المناسب إذا كانت درجة حرارة الهواء الخارجي 40 °C وما قيمة الضغط التي يفصل عندها قاطع الضغط العالي؟ يمكن الاستعانة بالرسومات في الملحق (c).

الفصل الثالث

أدوات وطرق التحكم في تكييف الهواء

Components and Methods of Control in Air-Conditioning

يناقش هذا الفصل عناصر التحكم التلقائي المستخدمة وأنواع الحاكمات وأدوات التحكم المستخدمة وكيفية تطبيقاتها على منظومات التكييف المختلفة الأغراض.

(٣،١) مكونات التحكم وأنواع الحاكمات

Components of Control and Type of Controllers

(٣،١،١) مكونات التحكم Components of control

جميع أنظمة التحكم التلقائي (automatic control) تتألف من مكونات أساسية. تعمل هذه المكونات معا لأداء مهمة محددة للتحكم بدرجة حرارة أو رطوبة أو ضغط. هذه المكونات هي :

العملية process : تعبر عن الغرض من المنظومة مثل التبريد أو الترطيب أو التكييف.

المتغير المحكوم controlled variable : عبارة عن المتغير المطلوب ضبطه مثل درجة حرارة أو رطوبة أو ضغط.

نقطة الضبط set point : عبارة عن قيمة المتغير المحكوم المطلوبة في الحيز المكيف.

الحاس sensor : مهمته قياس وإرسال قيمة المتغير المحكوم من الحيز المكيف إلى الحاكم.

الحاكم controller : مهمته مقارنة الإشارة القادمة من الحاس sensor بنقطة الضبط ويعبر الفرق بينهما عن إشارة الخطأ. عند وجود إشارة خطأ يتم توليد إشارة كهربائية أو ميكانيكية ، وبعد تكبيرها ترسل إلى أداة التحكم.

أداة التحكم controlled device : وتسمى أيضاً العنصر الموجه ومهمته استلام إشارة الحاكم والتفاعل معها بالتأثير على وسيلة التحكم عن طريق مصدر للطاقة من أمثلة أدوات التحكم: المحابس – خوانق الهواء – الريلاى الكهربائي.

مصدر الطاقة energy source : وهي الطاقة التي تؤثر بها أداة التحكم على وسيلة التحكم مثل طاقة كهربائية أو هواء مضغوط.

وسيلة التحكم control medium : الوسيط الذي من خلاله تتم عملية التحكم مثل : ماء بارد – ماء حار – هواء – وسيط تبريد.

لتوضيح عمل هذه المكونات معاً نفرض أنه يُراد التحكم في درجة حرارة هواء غرفة في فصل الشتاء بحيث لا تتجاوز ارتفاعا أو انخفاضا عن 22 °C وفق تفاوت محدد. تتم عملية التحكم من خلال ضبط معدل سريان الماء الساخن المار خلال ملف التسخين باستخدام صمام ثلاثي. يتم التحكم بالصمام الثلاثي بواسطة هواء مضغوط. في حالة أن درجة حرارة الغرفة انخفضت عن 21 °C يتم زيادة معدل السريان وفي حالة أن درجة حرارة الغرفة ارتفعت عن 23 °C يتم خفض كمية السريان خلال ملف التسخين وهكذا. مكونات التحكم المرتبطة بهذه العملية كما يوضح الشكل رقم (٣,١) هي :

العملية : تكييف .

المتغير المحكوم controlled varaible : درجة الحرارة.

نقطة الضبط set point : 22 °C

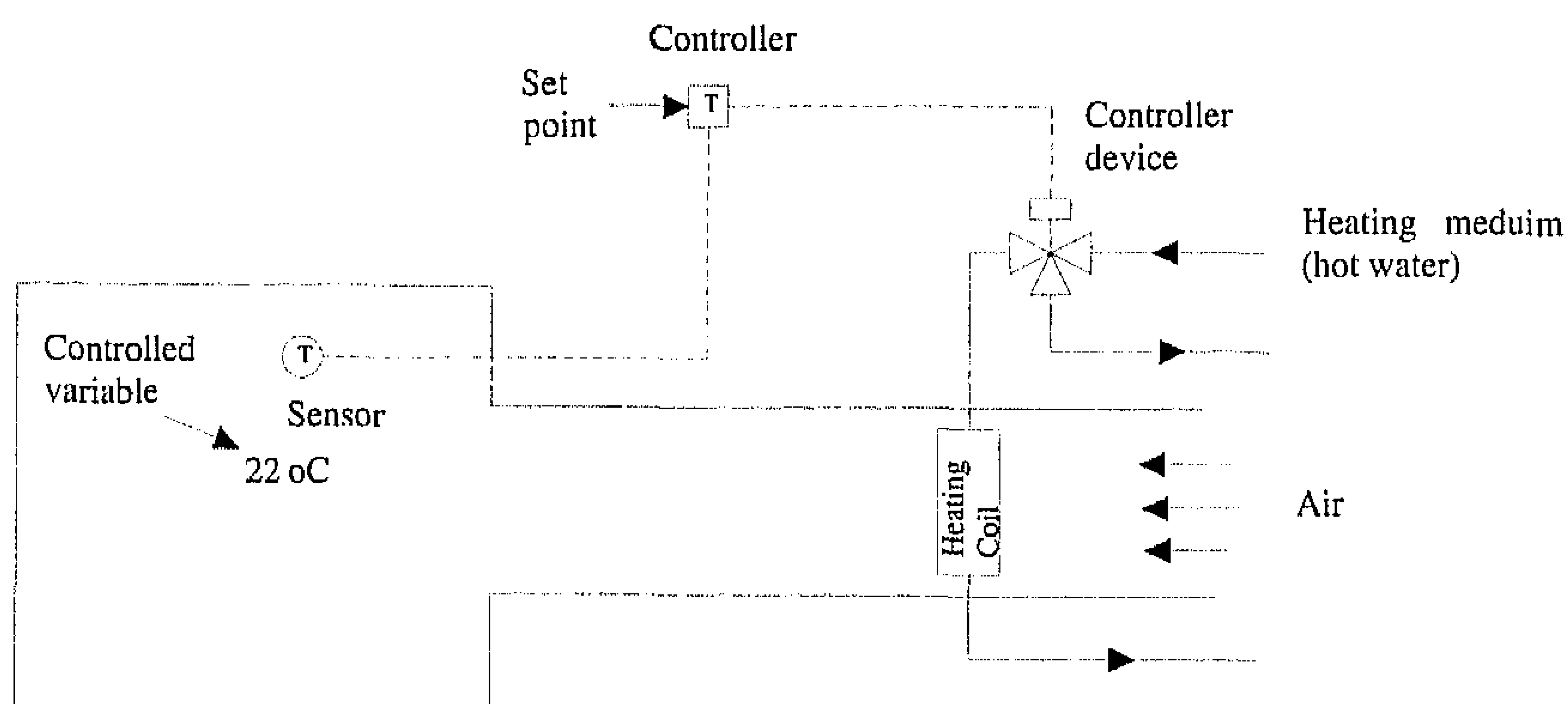
الحاس sensor : حاس درجة حرارة الغرفة.

الحاكم controller : ثيرموستات.

أداة التحكم controlled device : صمام ثلاثي.

مصدر للطاقة energy source : هواء مضغوط.

وسيلة التحكم control medium : ماء ساخن (hot water).



الشكل رقم (٣،١). عناصر التحكم مُوضحة على منظومة تكييف.

(٣،١،٢) أنواع الحاكمات Controllers types

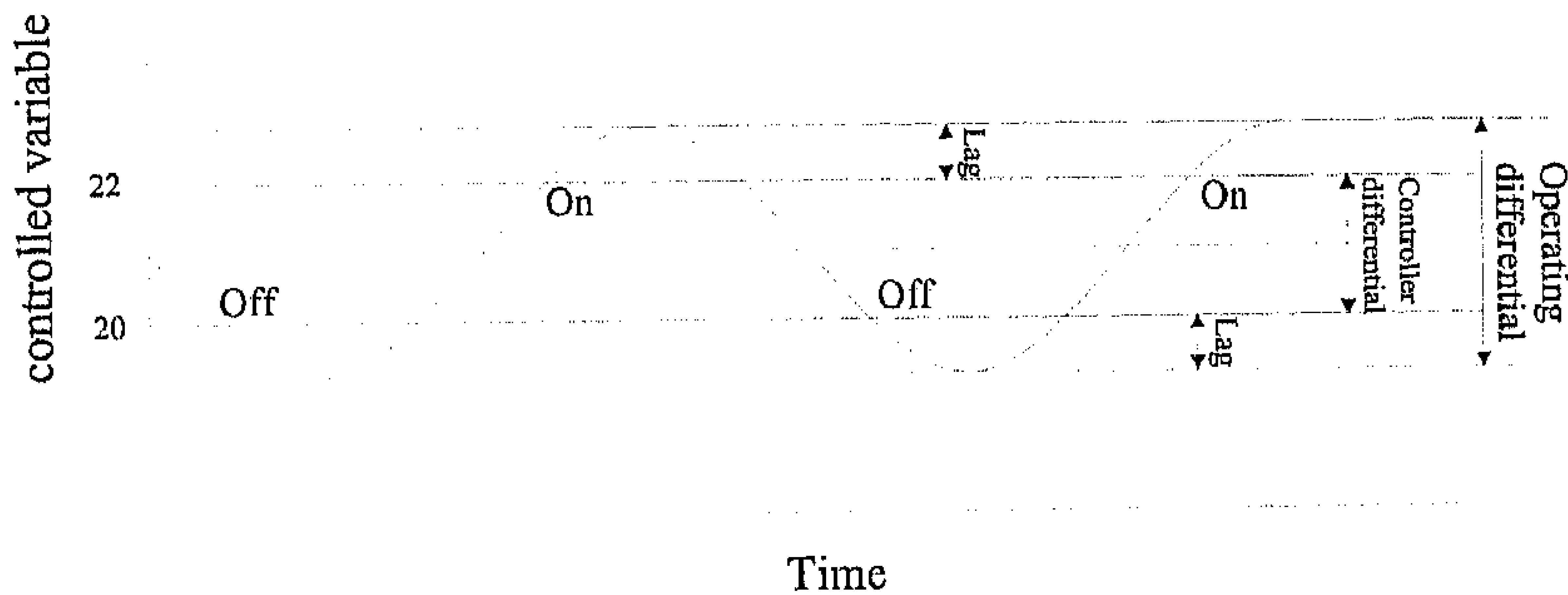
يتم تصنيف الحاكم وفقا لاستجابة التحكم إلى نوعين:

- الحاكم ذو الموضعين.
- الحاكم التناسبي.

(١،٢،١،٣) الحاكم ذو الموضعين Two position controller

يعمل الحاكم على إرسال إشارة ON لتشغيل منظومة التكييف في حالة وصول المتغير المحكوم إلى قيمة عليا (محددة مسبقاً) أو إرسال إشارة OFF لإيقافها في حالة وصول المتغير المحكوم إلى قيمه دنيا (محددة مسبقاً) الشكل رقم (٣،٢) على سبيل المثال يوضح التغير اللحظي للمتغير المحكوم مع الزمن بحيث يعمل (الحاكم) على تشغيل الضاغط عندما تصل درجة الحرارة في الغرفة (المتغير المحكوم) إلى 22 °C وإيقافه عندما تصل درجة الحرارة إلى 20 °C وبذلك يكون تفاوت الحاكم (controller differential) 2 °C .

ينبغي هنا معرفة أن التغير الفعلي في درجة حرارة الغرفة و يُعرف بتفاوت التشغيل (operating differential) أكبر من تفاوت الحاكم (controller differential) وذلك بسبب التخلف الزمني (time lag) والتخلف الحراري (thermal lag) المصاحب لأنظمة التكييف. يختلف التخلف الزمني والحراري بحسب طبيعة النظام. إذا افترضنا أن التخلف الزمني والحراري يقدر في هذا المثال يقدر بـ 0.5 °C فإن تفاوت التشغيل يُعطى بـ 3 °C .



الشكل رقم (٣،٢). التغير اللحظي للمتغير المحكوم مع الزمن في نظام التحاكم ذو الموضعين.

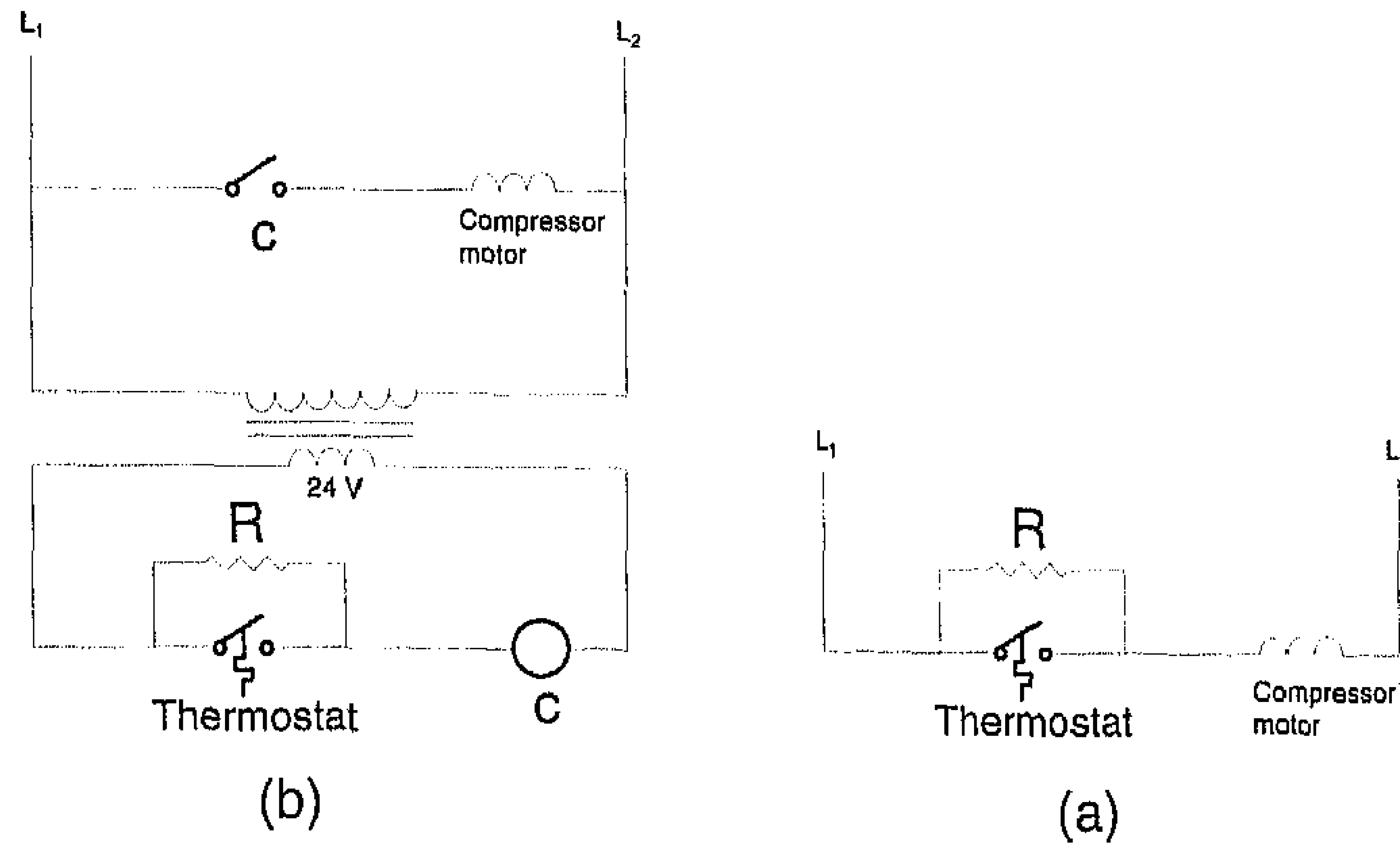
عندما يكون التخلف الزمني كبيرا فإن تفاوت التشغيل يؤدي إلى عدم الشعور بالراحة. يصبح التخلف الزمني كبيرا نسبيا في المنظومات الكبيرة حيث يحتاج النظام إلى وقت للتشغيل والوصول إلى طاقته الكاملة - يحتاج ذلك من 5 إلى 15 دقيقة. في هذه الأثناء ترتفع درجة حرارة الحيز أو تنخفض ويصبح المكان غير مريح. على سبيل المثال ثيرموستات ضُبط عند 23 °C وتفاوت 1.5 °C سوف يفتح عند 24.5 °C ويغلق عند 21.5 °C . عند غلق النقاط يبدأ نظام التبريد بتبريد الهواء، ولكن لأن النظام لم يصل إلى كامل سعته التبريدية سوف تكون درجة حرارة هواء التغذية أعلى من درجة حرارة التصميم. في هذه الأثناء إذا كان التخلف الزمني 1 °C قد تنخفض درجة حرارة المكان إلى 20.5 °C وترتفع درجة حرارته إلى 25.5 °C ويكون المكان خارج مدى الراحة الحراية في كلتا الحالتين.

أيضاً **يكون التخلف الزمني كبيرا نسبيا عندما** يُستخدم تحكم فرق الجهد العالي في السعات التبريدية المتوسطة والكبيرة حيث تصمم عناصر الثيرموستات بحجم كبير يتناسب مع التيار المار خلاله مما يجعل استجابة الثيرموستات أبطأ فيؤدي إلى زيادة التخلف الزمني (انظر الفصل الثاني).

للتعامل مع هذه الحالات نحتاج إلى وسيلة لتعجيل غلق دائرة الضاغط قبل أن تصل درجة حرارة الثيرموستات إلى نقطة الإغلاق.

من الوسائل المستخدمة لتصغير قيمة التخلف الزمني وتصغير تفاوت التشغيل استخدام ما يسمى **مقدّر التبريد** (Cold anticipator) و**مقدّر التسخين** (heat anticipator).

مقدّر التبريد عبارة عن مقاومة كهربائية لها قيمة كبيرة غير متغيرة تُوصل على التوازي مع نقاط التلامس للثيرموستات. طريقة توصيل الثيرموستات مع مقدّر التبريد **لتحكم فرق الجهد المخفض وتحكم فرق الجهد العالي** موضح في الشكل رقم (٣,٣).



الشكل رقم (٣،٣). طريقة توصيل الثيرموستات مع مقدّر التبريد في حالة: (a) فرق الجهد العالي (b) فرق الجهد المخفض.

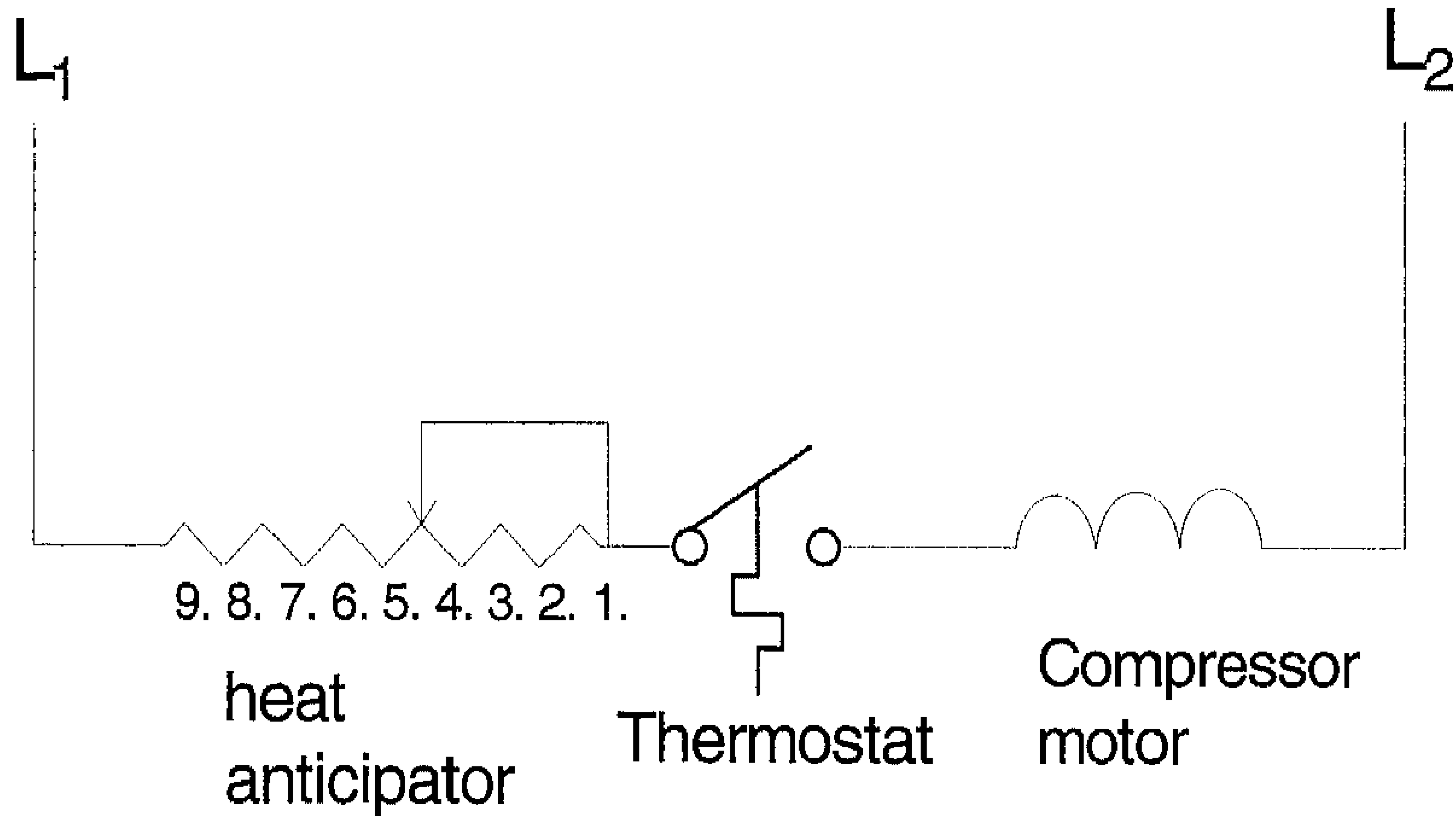
لا يصل تيار للمقاومة في حالة إغلاق نقاط الثيرموستات؛ لأن نقاط الثيرموستات موصلة على التوازي ويستهلك محرك الضاغط جميع فرق الجهد. في المقابل عندما تفتح نقاط الثيرموستات يصل التيار إلى المقاومة ولأنها كبيرة تستهلك جميع فرق الجهد في الدائرة فلا يعمل محرك الضاغط أثناء فتح نقاط الثيرموستات وتعمل المقاومة على تسخين الثيرموستات وينتج من ذلك أن تغلق النقاط قبل أن يصل تأثير حرارة الغرفة إلى نقطة الإغلاق. هذا الإغلاق قبل الأوان يجعل الضاغط يعمل ويبدأ بتبريد هواء الغرفة قبل أن ترتفع إلى قيمة تتعدى مدى الراحة وبذلك يصبح التخلف الزمني أصغر.

بالنسبة لمقدر التسخين توصل المقاومة على التوالي مع نقاط الثيروستات. وتكون المقاومة متغيرة تتناسب مع التيار المار خلال الدائرة حتى تبقى كمية الحرارة المنبعثة بنفس القيمة على الرغم من تغير التيار. التدريج الموضح في الشكل رقم (٣.٤) على مقدر التسخين يستخدم للتحكم بقيمة المقاومة بحيث تزيد بزيادة التدريج. عندما

تكون النقاط مغلقة تعمل المقاومة على تسخين الثيرموستات وتحريك ثنائي المعدن فيفتح قبل أن يصل تأثير حرارة المكان المكيف إلى نقطة الضبط ولكن لأن تأثير الهواء الساخن مستمر فإن المكان يكون في نطاق الراحة الحرارية على الرغم من أن الثيرموستات فتح النقاط قبل الأوان.

(٢،٢،١،٣) الحاكم التناسبي Modulating controller

في هذا النوع من التحكم يتم التحكم في المتغير المحكوم بصورة تناسبية حيث يرسل الحاكم إشارة لأداة التحكم بما يتناسب مع التغير الذي طرأ على المتغير المحكوم. وبذلك يستجيب الحاكم إذا طرأ تغير في المتغير المحكوم لحظياً بدلاً من انتظار حدوث تفاوت محدد ثم إرسال إشارة تشغيل أو غلق فقط كما هو الحال في حالة الحاكم ذي الموضعين .



الشكل رقم (٣،٤). طريقة توصيل الثيرموستات مع مقدّر التسخين لتحكم فرق الجهد العالي.

الشكل رقم (٣,٥) يوضح التغير اللحظي للمتغير المحكوم مع الزمن في حالة الحاكم التناسبي ومنه يمكن تعريف المصطلحات التالية المتعلقة بالحاكم التناسبي :

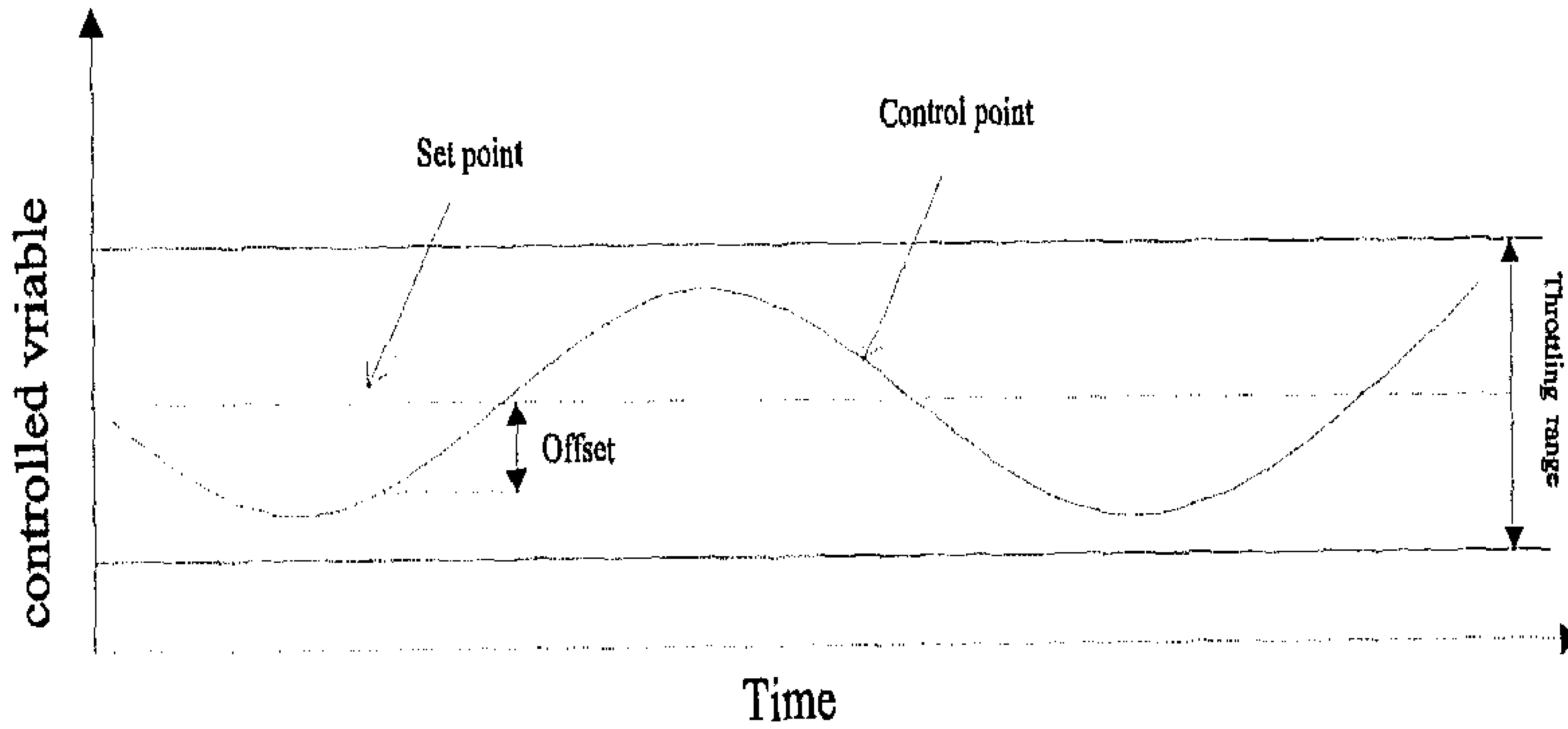
نقطة الضبط set point: عبارة عن قيمة المتغير المحكوم المطلوبة في الحيز المكيف.

نقطة التحكم control point : عبارة عن قيمة المتغير المحكوم الفعلية عند لحظة معينة.

الإزاحة offset: الفرق بين نقطة الضبط ونقطة التحكم.

مدى الخنق throttling range : مقدار التغير في قيمة المتغير المحكوم التي تنتج عند تحرك أداة التحكم عندما تتحرك من الغلق الكلي إلى الفتح الكلي أو العكس.

حساسية الحاكم sensitivity of the controller : تعبر عن مقدار تغير ضغط مصدرطاقة التحكم عند تغير المتغير المحكوم وحدة واحدة. على سبيل المثال الحاكم النيوماتيكي يمكن أن يأخذ حساسية 14 kPa/°C بمعنى أن التغير في درجة الحرارة الواحدة يتطلب تغير طاقة التحكم بمقدار 14 kPa.



الشكل رقم (٣،٥). التغير اللحظي للمتغير المحكوم مع الزمن في نظام التحكم التناسبي.

(٣،٢) أدوات التحكم
Controlled Devices

أدوات التحكم في التكييف تشمل الصمامات Valves والخوانق Dampers.

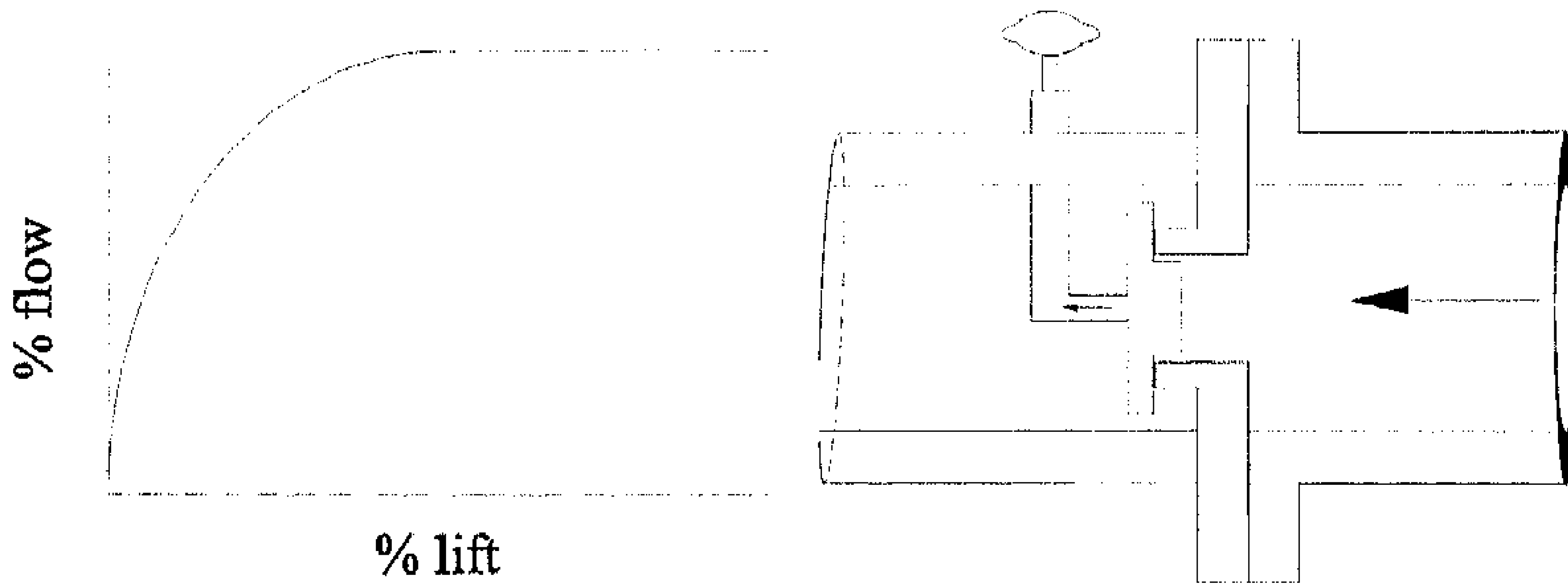
(٣،٢،١) الصمامات Valves

تنقسم الصمامات إلى صمامات تحكم ذات موضعين وصمامات تحكم تناسبية :

(٣،٢،١،١) صمامات التحكم ذات الموضعين Two position valves

تتميز هذه الصمامات بأن التدوير الخفيف يجعل الصمام يفتح بشكل كامل كما في الشكل رقم (٣.٦) فيكون الصمام أما في حالة فتح أو في حالة غلق.

يُستخدم هذا النوع من الصمامات كصمام خدمة يُغلق خط السريان في حالة الصيانة.



الشكل رقم (٣،٦). صمام التحكم ذو الموضعين.

(٣،٢،١،٢) صمامات التحكم التناسبي Proportional control valves

تكون عادةً فتحة هذه الصمامات أصغر من حجم الأنبوب لكن في حالة أن الصمام لغرض للتحكم ذي الموضعين والتناسبي معاً تكون الفتحة مقاربة لحجم

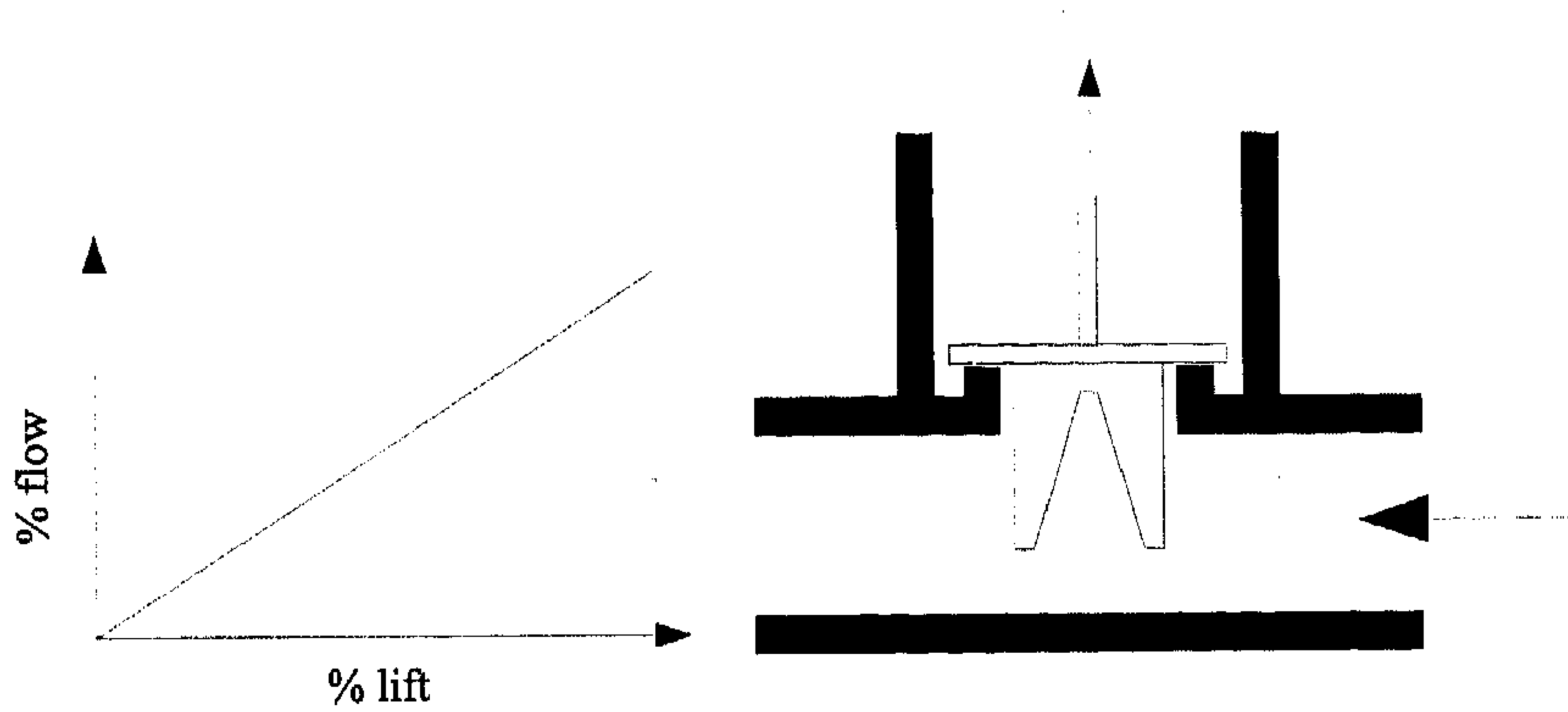
الأنبوب. حجم صمامات التحكم التناسبي ينبغي أن يكون بحيث يوفر من ٢٠٪ إلى ٦٠٪ من مجموع ضغط النظام.

يوجد نوعان من الصمامات التناسبية: صمام التحكم الخطي (linear control) وصمام التحكم المتساوي النسبة (Equal-percentage control) .

(٣،٢،١،٣) صمام التحكم الخطي Linear control valve

معدل السريان خلال الصمام تكبر بطريقة تناسبية كلما تم الاستمرار في تدوير الصمام باتجاه الفتح حسب الشكل رقم (٣,٧).

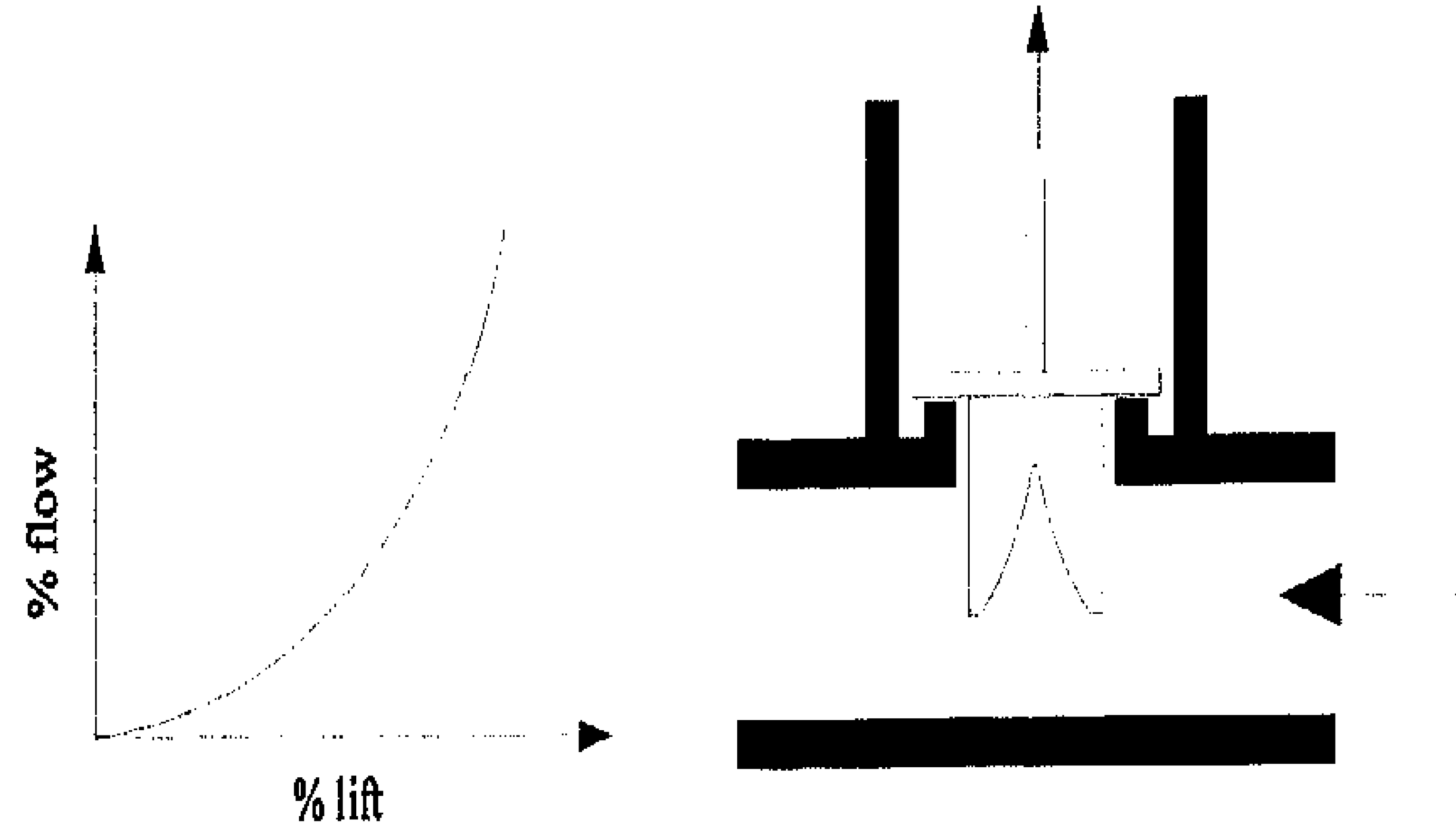
يُستخدم صمام التحكم الخطي للتحكم بسريان البخار بسبب أن البخار يكون عند درجة حرارة ثابتة.



الشكل رقم (٣،٧). صمام التحكم الخطي.

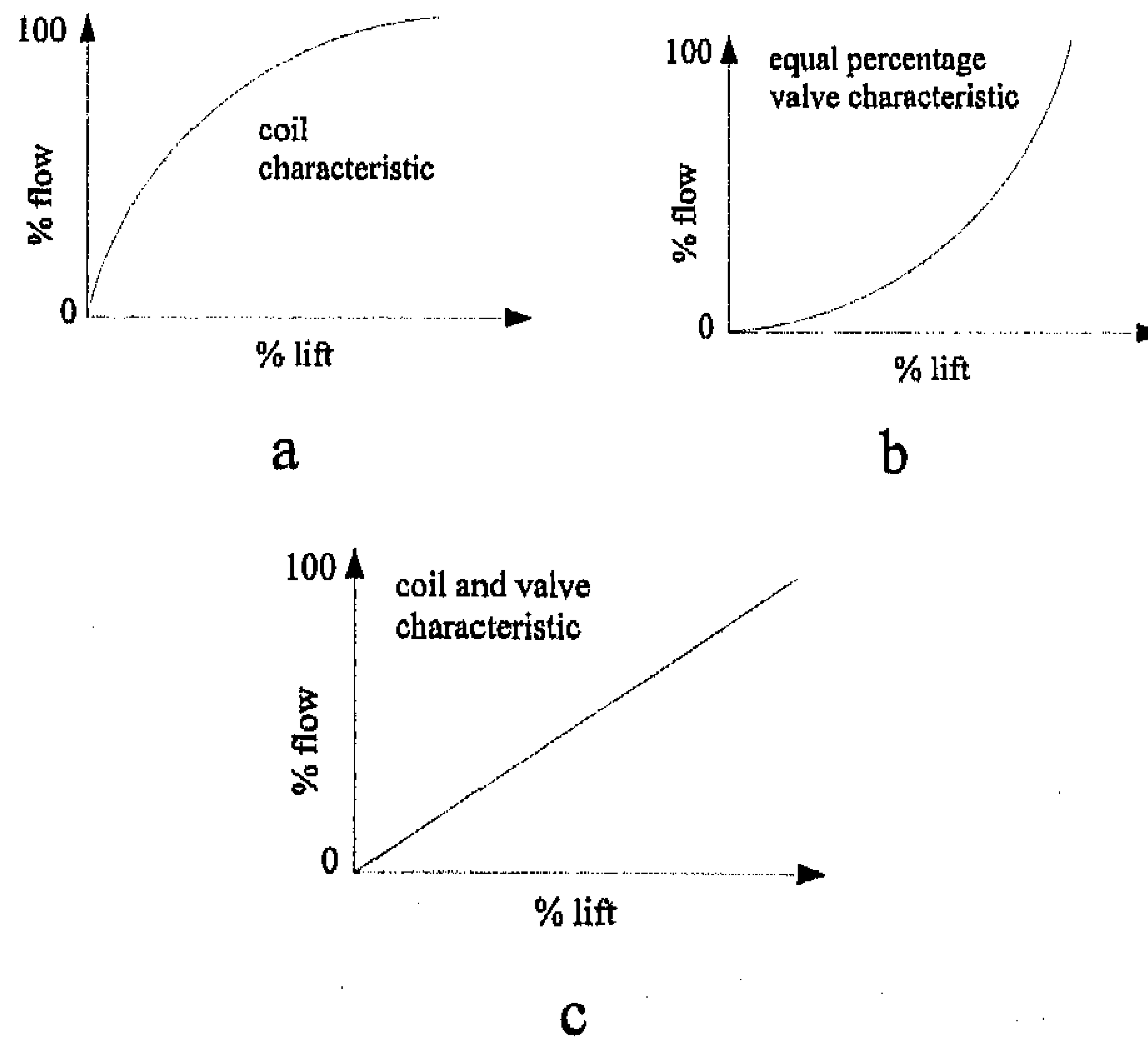
(٣،٢،١،٤) صمام التحكم المتساوي النسبة Equal percentage control valve

يعمل هذا الصمام على أساس أن زيادة الفتحة بنفس المقدار يعمل على زيادة السريان بنسبة ثابتة أي بشكل أُسي (exponentially) كما هو موضح بالشكل رقم (٣,٨).



الشكل رقم (٣،٨). صمام التحكم المتساوي النسبة.

يكون هذا الصمام مناسب للتحكم بالسريان خلال ملف التبريد أو ملف التسخين حيث أن الحمل التبريدي يتغير بشكل لوغرثمي كما يوضح الشكل رقم (a-٣,٩) ومن خصائص هذا الصمام ان السريان يغير بشكل أُسي (exponentially) كما في الشكل رقم (b-٣,٩). وبذلك يتغير الحمل التبريدي بشكل خطي مع التغير في فتحة الصمام كما يوضح الشكل رقم (c-٣,٩)،

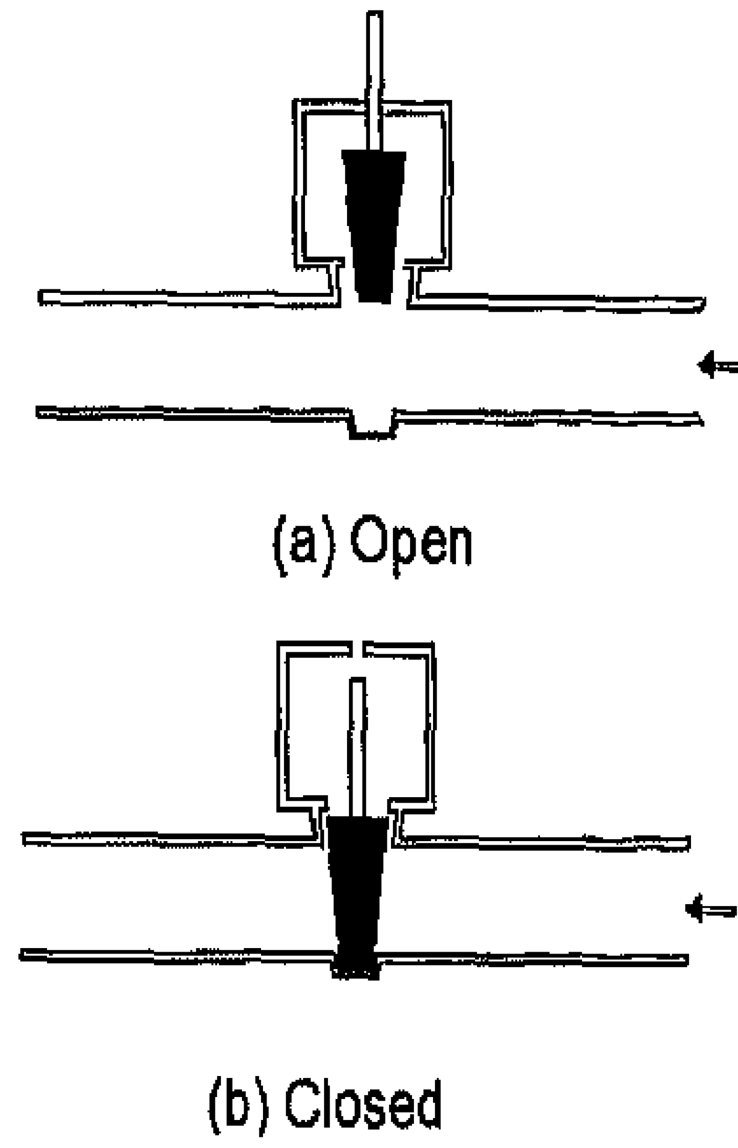


الشكل رقم (٣،٩). منحنى صمام التحكم المتساوي النسبة والحمل الحراري على ملف التبريد.

(٣،٢،٢) بعض الصمامات الشائعة الاستخدام Some of the most common valves

(٣،٢،٢،١) صمام بوابة Gate valve

يحتوي على مصد قابل للانزلاق يتحرك بشكل متعامد على اتجاه السريان لفتح أو غلق مجرى السريان كما يوضح الشكل رقم (٣،١٠). يكون مشغل الصمام كهرومغناطيسي بحيث يحرك المصد بسرعة.



الشكل رقم (٣،١٠). صمام بوابة.

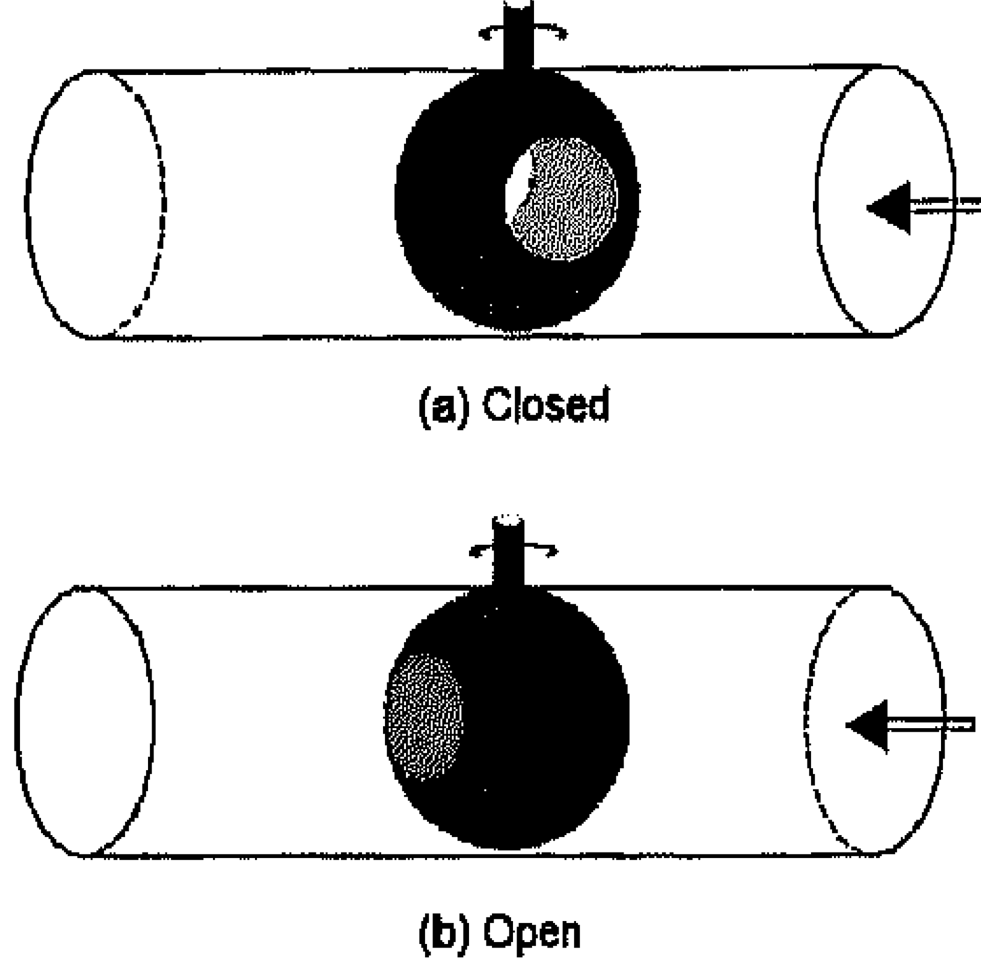
هذا النوع من الصمامات من نوع التحكم ذي الموضعين. يتميز بأن السريان لا يغير اتجاهه عند المرور حيث إنه يعمل بمبدأ انزلاق المصد مما يجعل الفقد في الضغط أقل ما يمكن.

يستخدم في الأنابيب الصغيرة ولكن حديثا لم يعد يستخدم بكثرة وحل محله الصمام الكروي، وصمام الفراشة.

(٣،٢،٢،٢) صمام كروي Ball valve

يستخدم هذا الصمام أداة كروية الشكل مفتوحة من المركز تعمل عند الدوران على التحكم بالسريان كما يوضح الشكل رقم (٣،١١) حيث يتحرك الصمام من

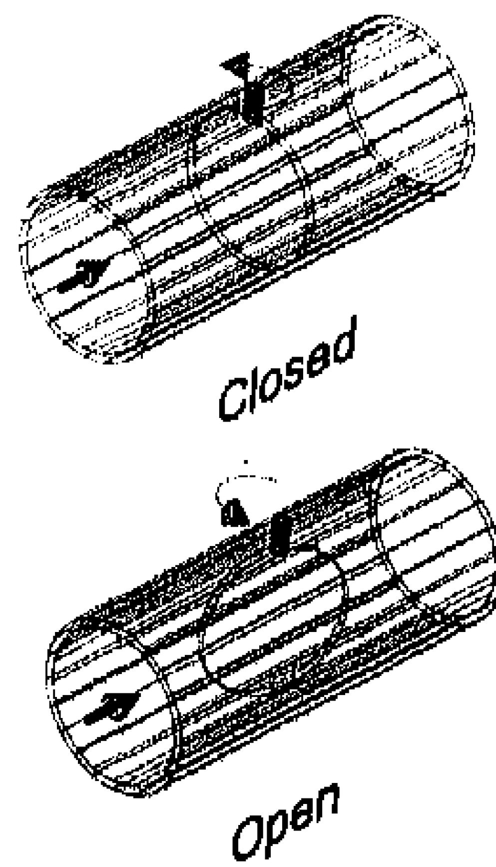
إغلاق كامل إلى فتح كامل في ربع دورة. يكون حجم فتحة الصمام قريب من فتحة الأنبوب إذا أُريد استخدامه كصمام من نوع التحكم ذي الموضعين. وتكون فتحة الصمام أصغر من حجم الأنبوب إذا صمم للاستخدام كصمام تحكم تناسبي.



الشكل رقم (٣،١١). صمام كروي.

(٣،٢،٢،٣) صمام فراشة Butterfly valve

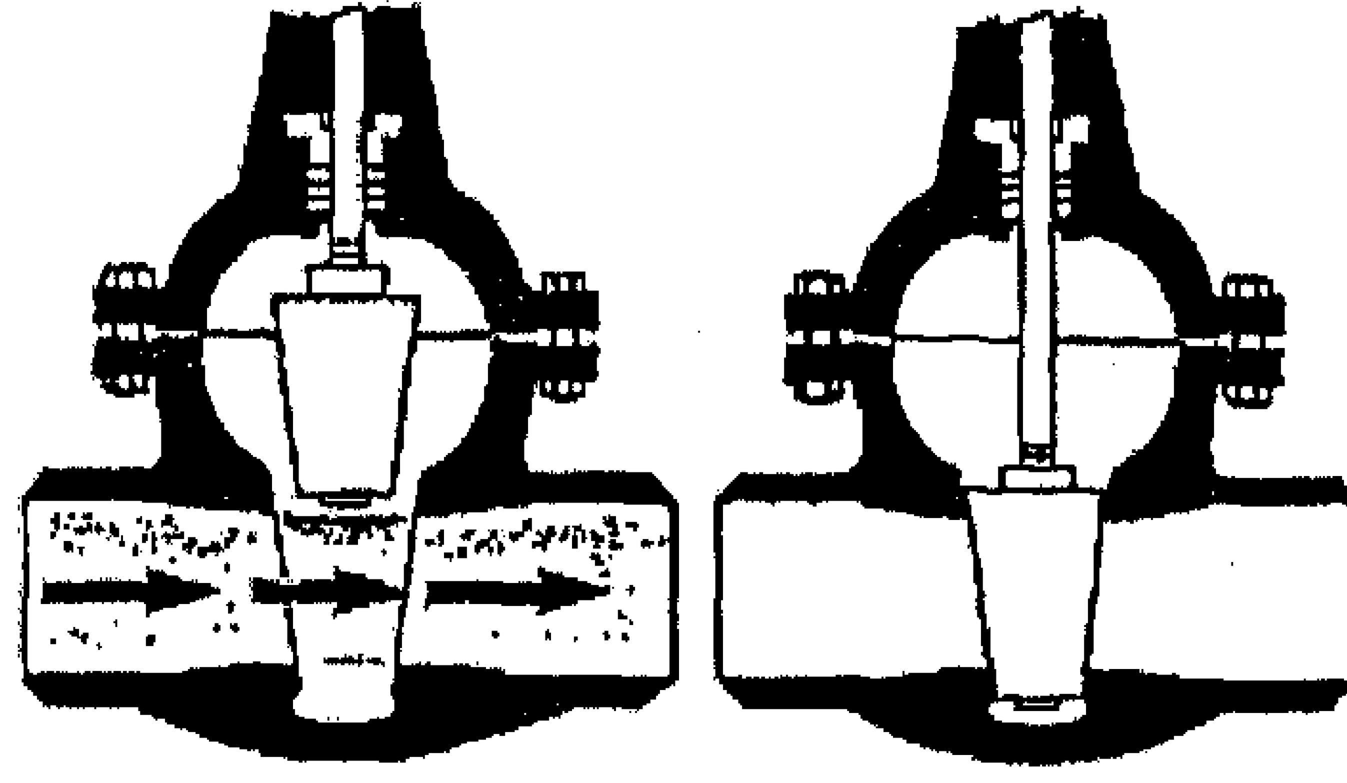
عبارة عن صمام يحتوي على مصد على شكل قرص يفتح ويقفل للسماح أو لمنع السريان كما يوضح الشكل رقم (٣,١٢) يتحرك الصمام من إغلاق كامل إلى فتح كامل في ربع دورة. يستخدم كصمام غلق وفتح ويمكن أيضاً أن يستخدم كصمام تحكم تناسبي.



الشكل رقم (٣،١٢). صمام فراشة.

(٣،٢،٢،٤) صمام سدادة Plug valve

أداة المصد عبارة عن سدادة على شكل أسطواني أو مخروطي تعمل عند الدوران على منع أو السماح للسريان خلال الصمام كما هو يوضح الشكل رقم (٣,١٣). يتميز هذا الصمام بأن السدادة تنزلق داخل مقعد الصمام فتكون أكثر إحكاماً من الصمام الكروي عند الغلق. يستخدم كصمام إغلاق وفتح وأيضاً كصمام تحكم.



الشكل رقم (٣،١٣). صمام سدادة (ref. 10).

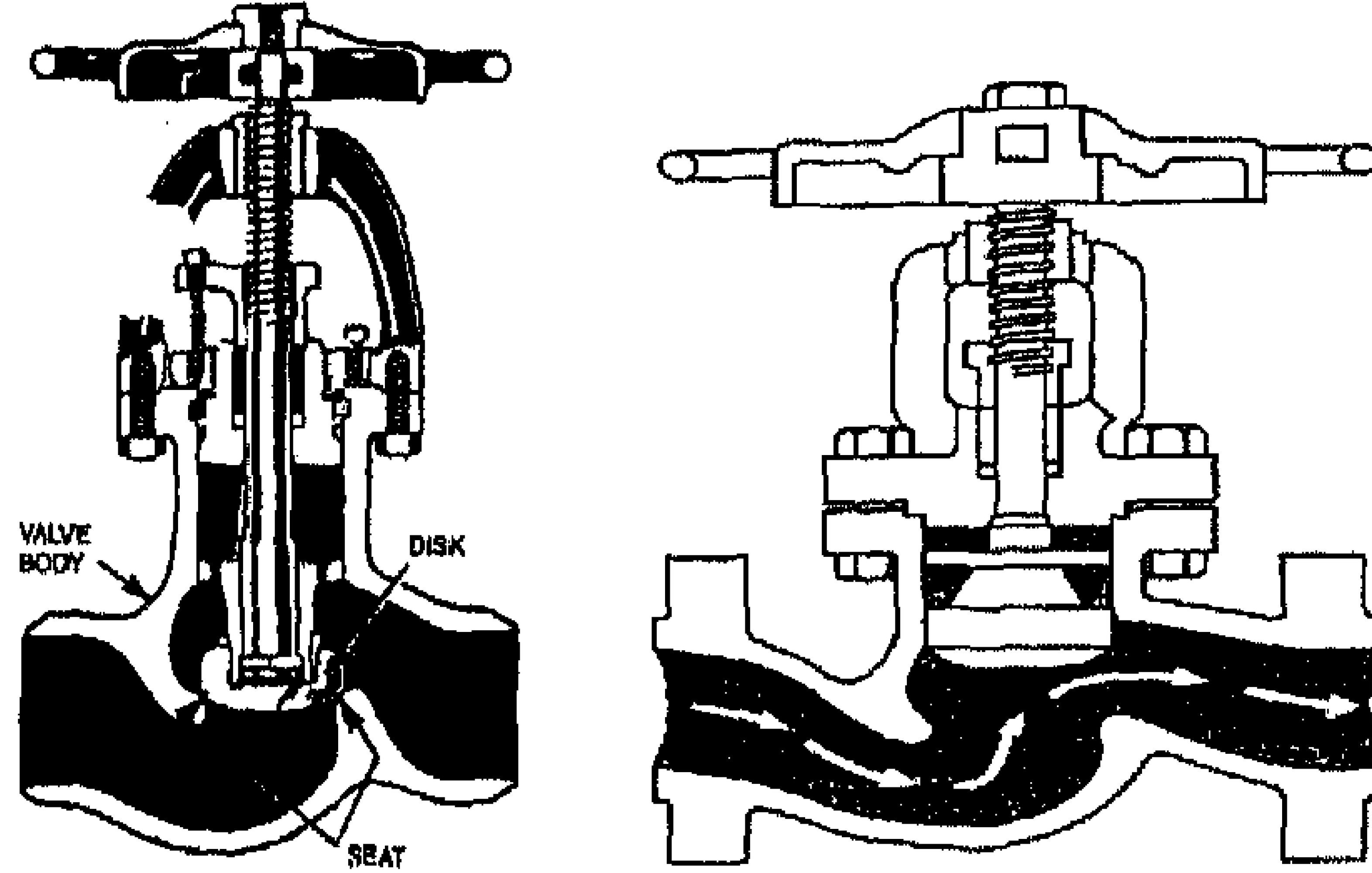
(٣،٢،٢،٥) صمام أرضي Globe valve

عبارة عن صمام يحتوي على أداة على شكل قرص أو سدادة تتحرك بشكل عمودي على اتجاه السريان كما يوضح الشكل رقم (٣,١٤). يستخدم لغرض الخنق بحيث عند الإغلاق تجلس هذه الأداة على مقعد الصمامات التي تعمل بمبدأ انزلاق المصد مثل صمام سدادة. يعتبر هذا النوع من الصمامات أفضل من تلك التي لها قاعدة بحيث يحصل تغير لاتجاه السريان مثل الصمام الكروي ؛ لأن ذلك يسبب هبوطاً في الضغط.

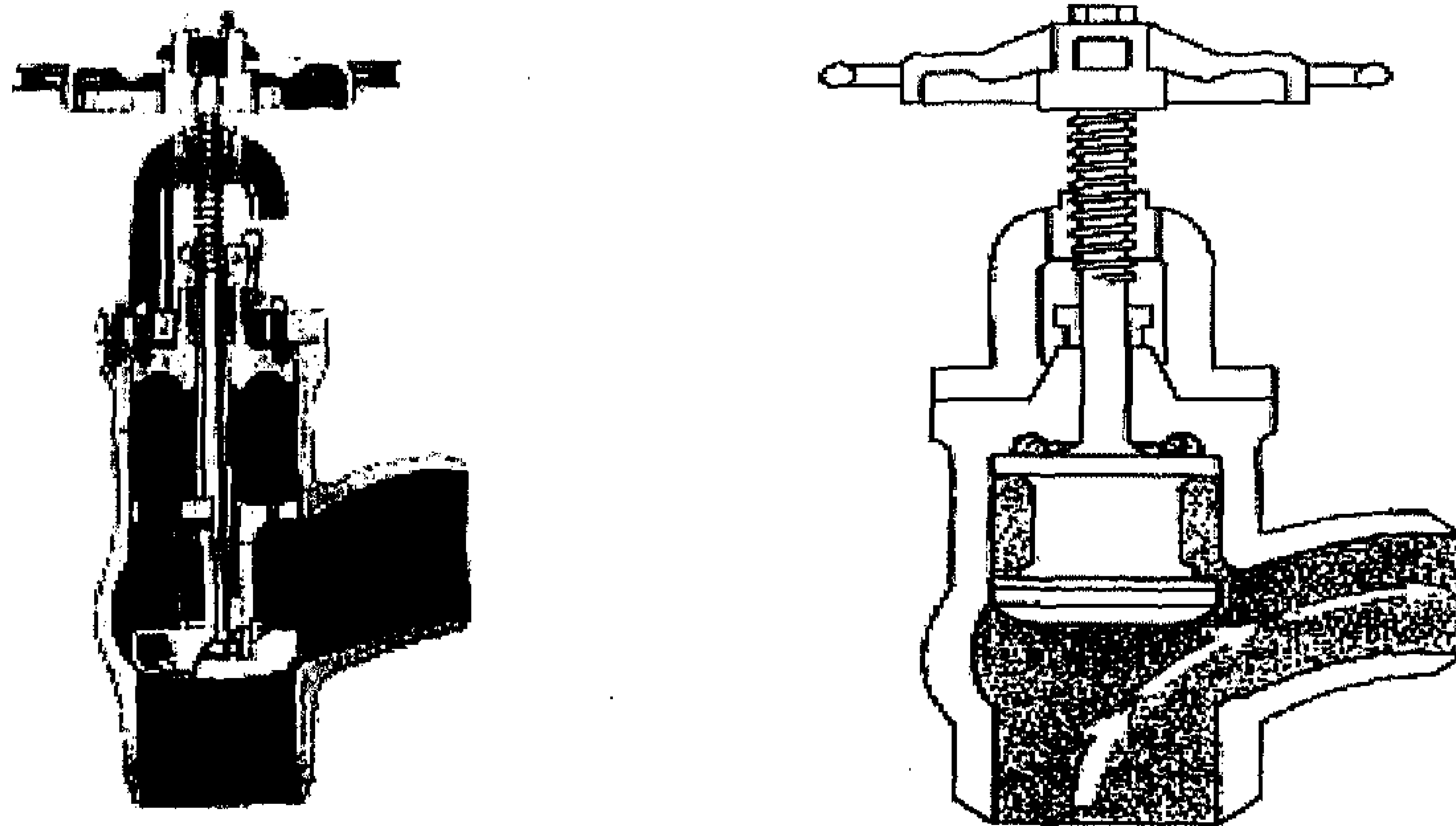
(٣،٢،٢،٦) صمام الزاوية Angle valve

عبارة عن صمام يحتوي على أداة على شكل سدادة تتحرك بشكل عمودي على اتجاه السريان عند المدخل كما يوضح الشكل رقم (٣,١٥) ؛ لأن المخرج في

صمام الزاوية يميل بمقدار 90 درجة عن المدخل. يكون الصمام مناسباً ليحل مكان الكوع، وبذلك يحصل التوفير في تكلفة الإنشاء لمنظومة توزيع الماء.



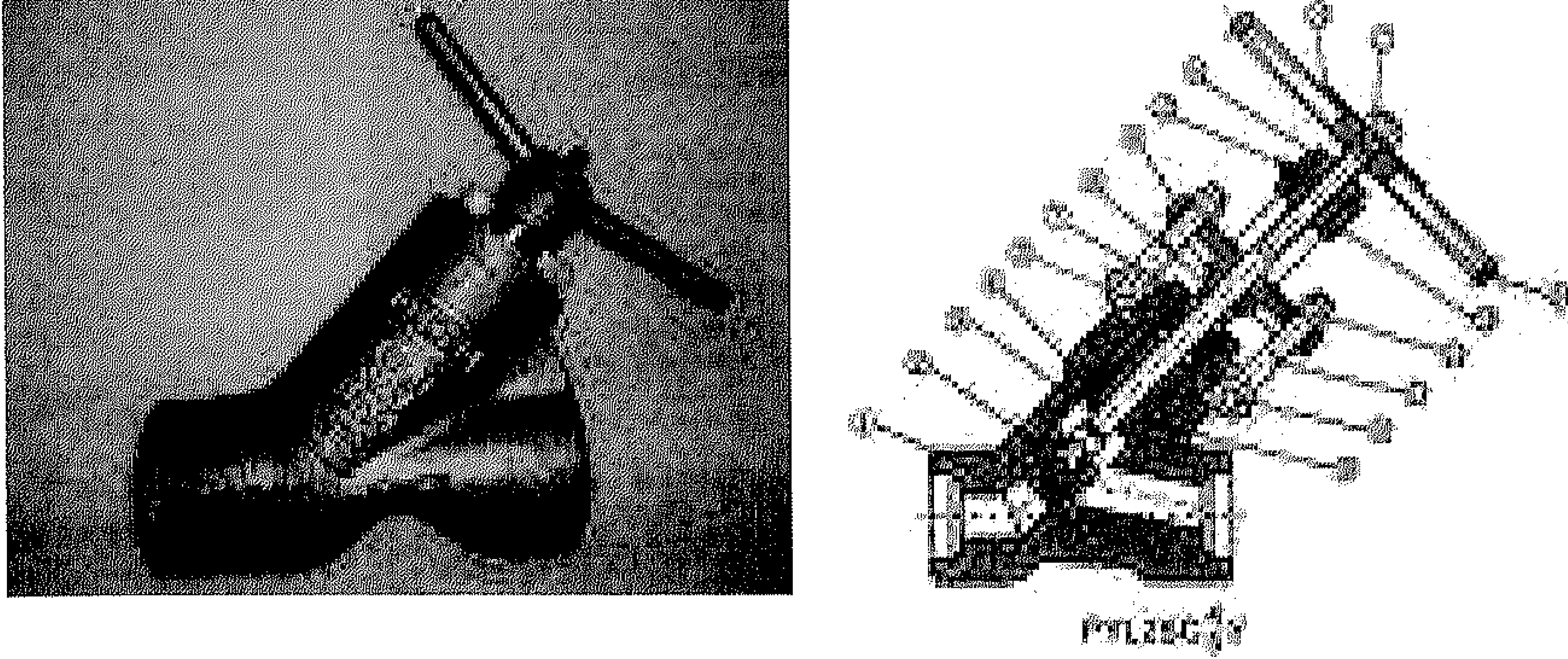
الشكل رقم (٣،١٤). صمام ارضي (ref. 10).



الشكل رقم (٣،١٥). صمام زاوية (ref. 10).

(٣،٢،٢،٧) صمام حرف Y-valve Y

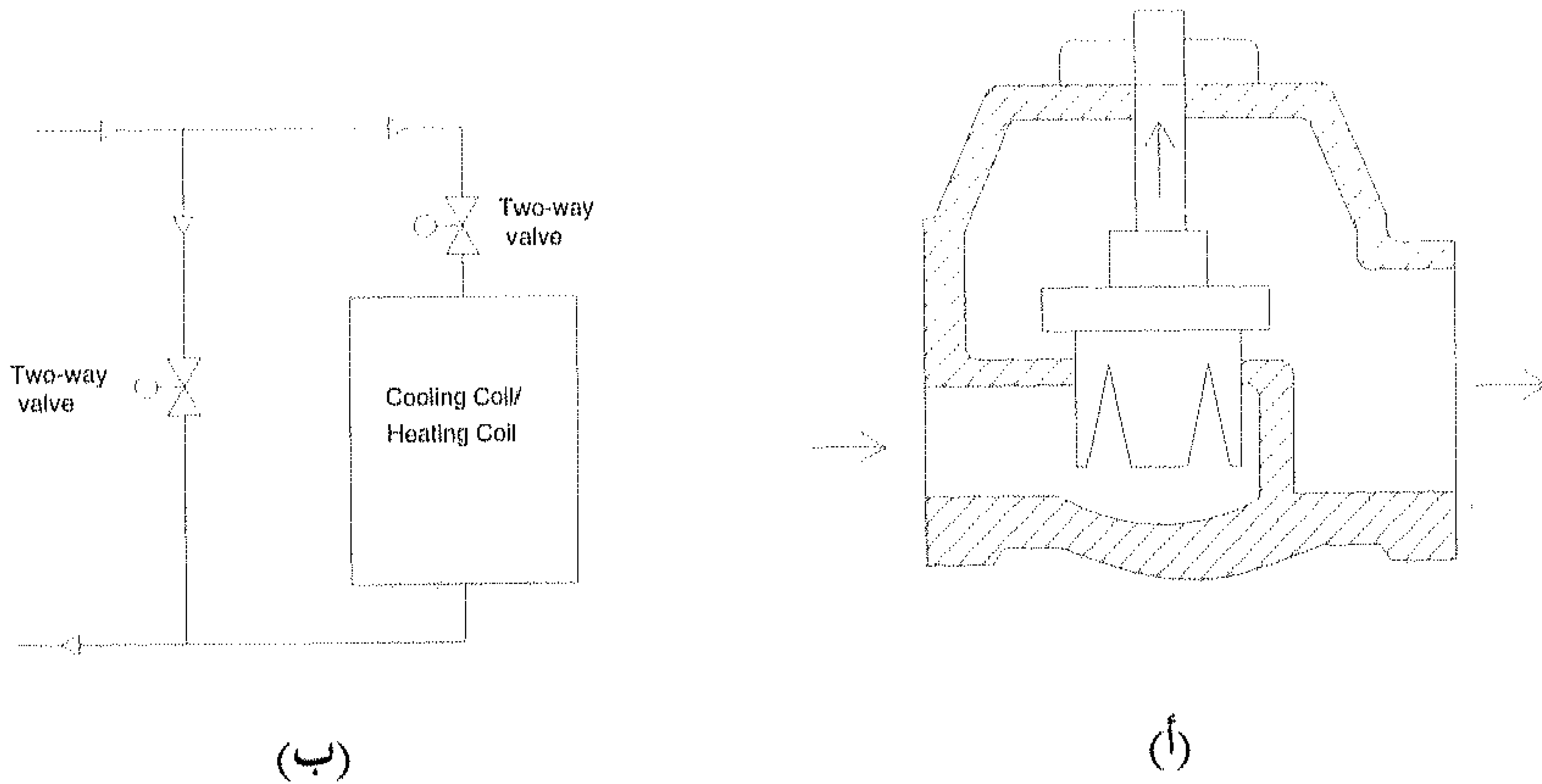
يعمل بنفس المبدأ الذي يعمل به الصمام الكروي وصمام الزاوية حيث يتحرك المصد من و إلى مقعد الصمام ولكن يكون المصد مائلاً بزاوية معاكسة لاتجاه السريان كما يوضح الشكل رقم (٣,١٦).



الشكل رقم (٣،١٦). صمام حرف Y (ref. 12).

(٣،٢،٢،٨) الصمام الثنائي Two-way valve

يحتوي على مدخل واحد ومخرج واحد كما يوضح الشكل رقم (٣.١٧) ويعمل بمبدأ صمام التحكم المتساوي النسبة ويستخدم للتحكم في السريان خلال ملف التبريد في وحدة مناولة الهواء وفقا للحمل الحراري على الملف. في حالة أن الحمل الحراري المخفض يعمل الصمام على الخنق فيقل معدل السريان خلال الملف وفي حالة زيادة الحمل الحراري يزيد الصمام معدل السريان خلال الملف.



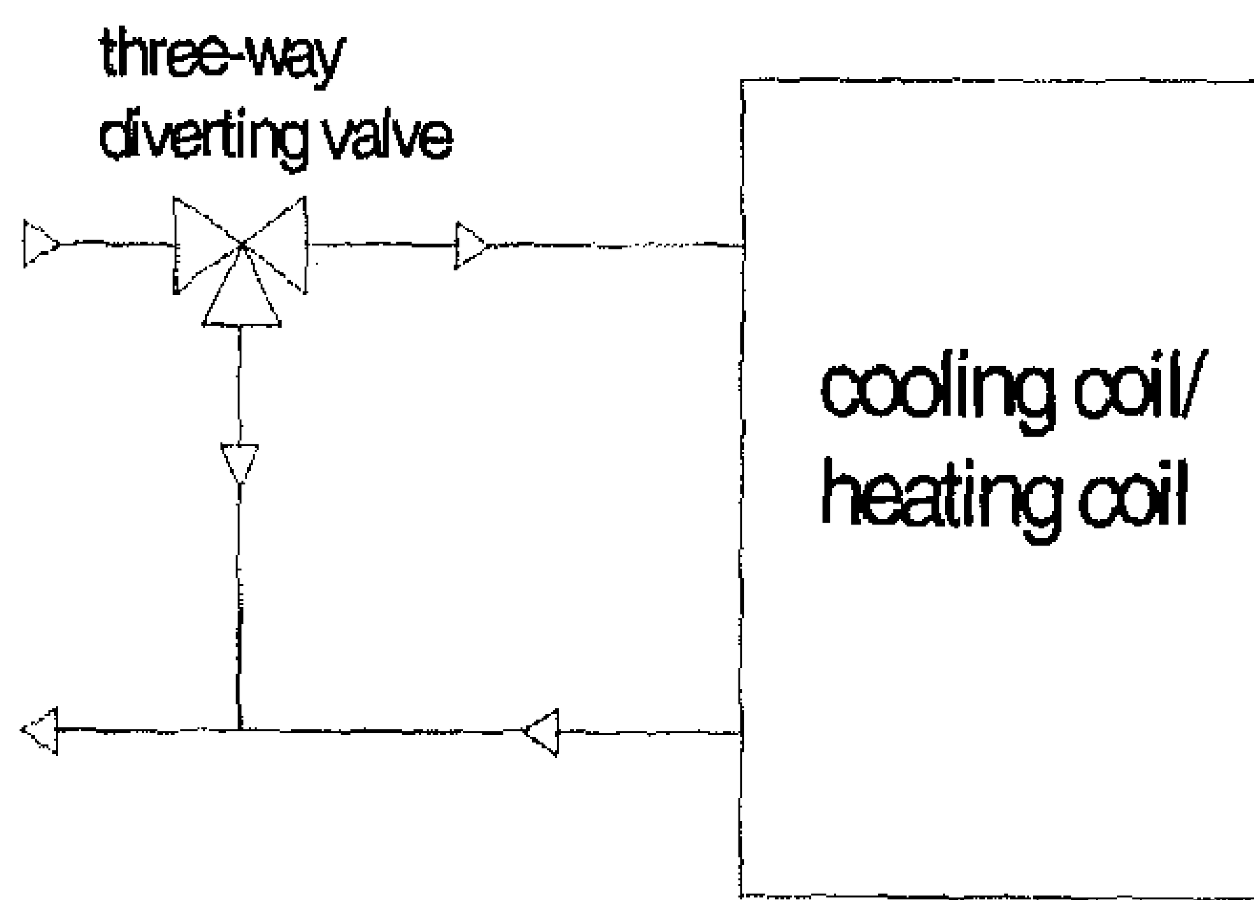
الشكل رقم (٣،١٧). صمام ثنائي (أ) تم تركيبه على ملف التبريد (ب).

(٣،٢،٢،٩) الصمام الثلاثي Three-way valve

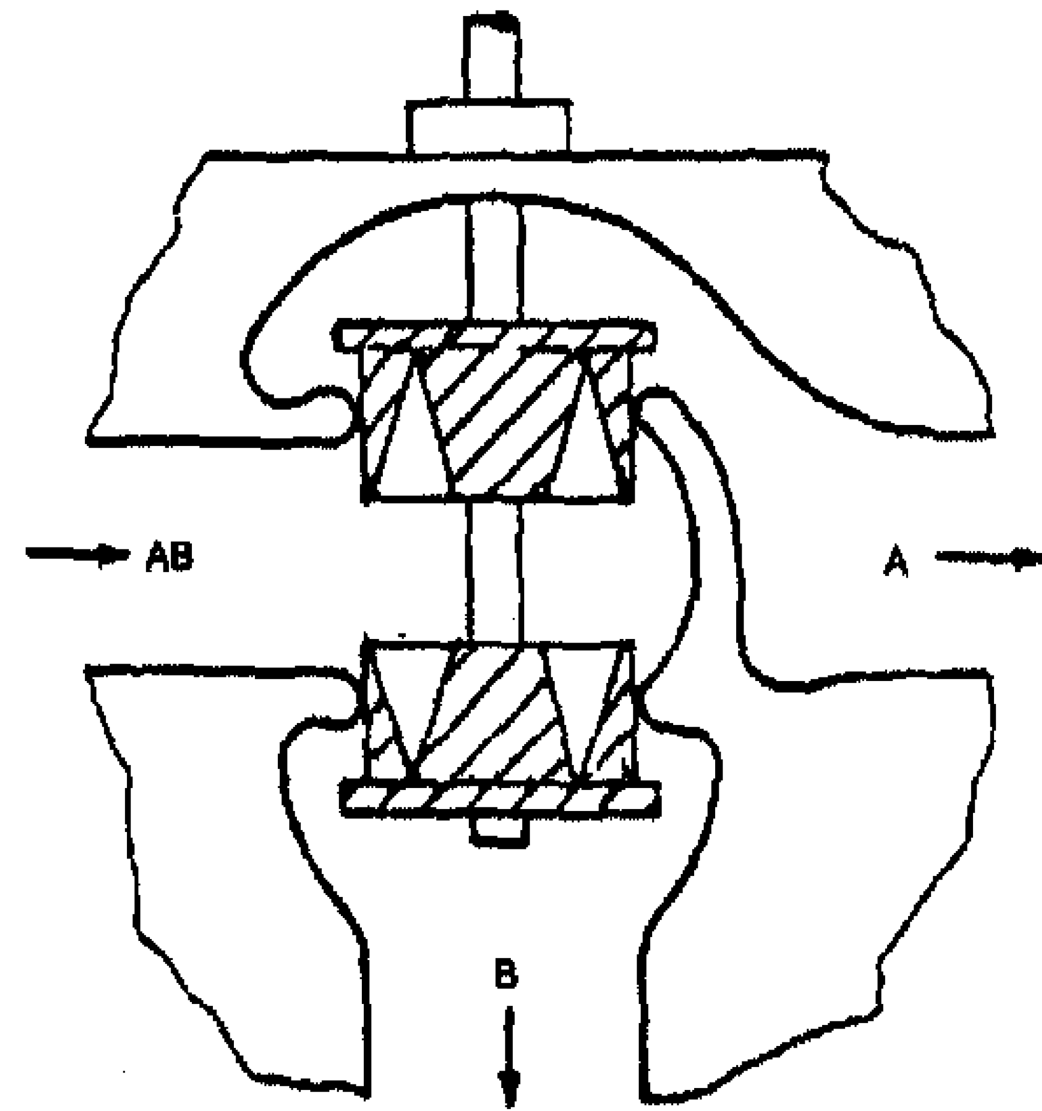
يُستخدم الصمام الثلاثي في وحدة مناولة الهواء للتحكم في معدل سريان الماء القادم من التشلر إلى وحدات مناولة الهواء. تكلفة الصمام الثلاثي أكبر من الصمام الثنائي. من أهم عيوب الصمام الثلاثي في منشئات التبريد الكبيرة مثل التكييف المركزي استمرار عمل المضخات بنفس السعة حتى في حالة انخفاض الحمل التبريدي. يوجد نوعان من الصمامات الثلاثية : صمام تحويل ثلاثي وصمام خلط ثلاثي.

- **صمام تحويل ثلاثي Three-way diverting valve**

يحتوي على مدخل واحد ومخرجين كما هو موضح في الشكل رقم (٣,١٨أ)، يركب الصمام عند مدخل الملف و يعمل الصمام على السماح لبعض الماء بالمرور خلال ملف التبريد وتحويل باقي السريان إلى خط توزيع الماء كما يوضح الشكل رقم (٣,١٨ب). نسبة معدل السريان المار خلال الملف إلى مجموع السريان يعتمد على الحمل الحراري على الملف.



(ب)

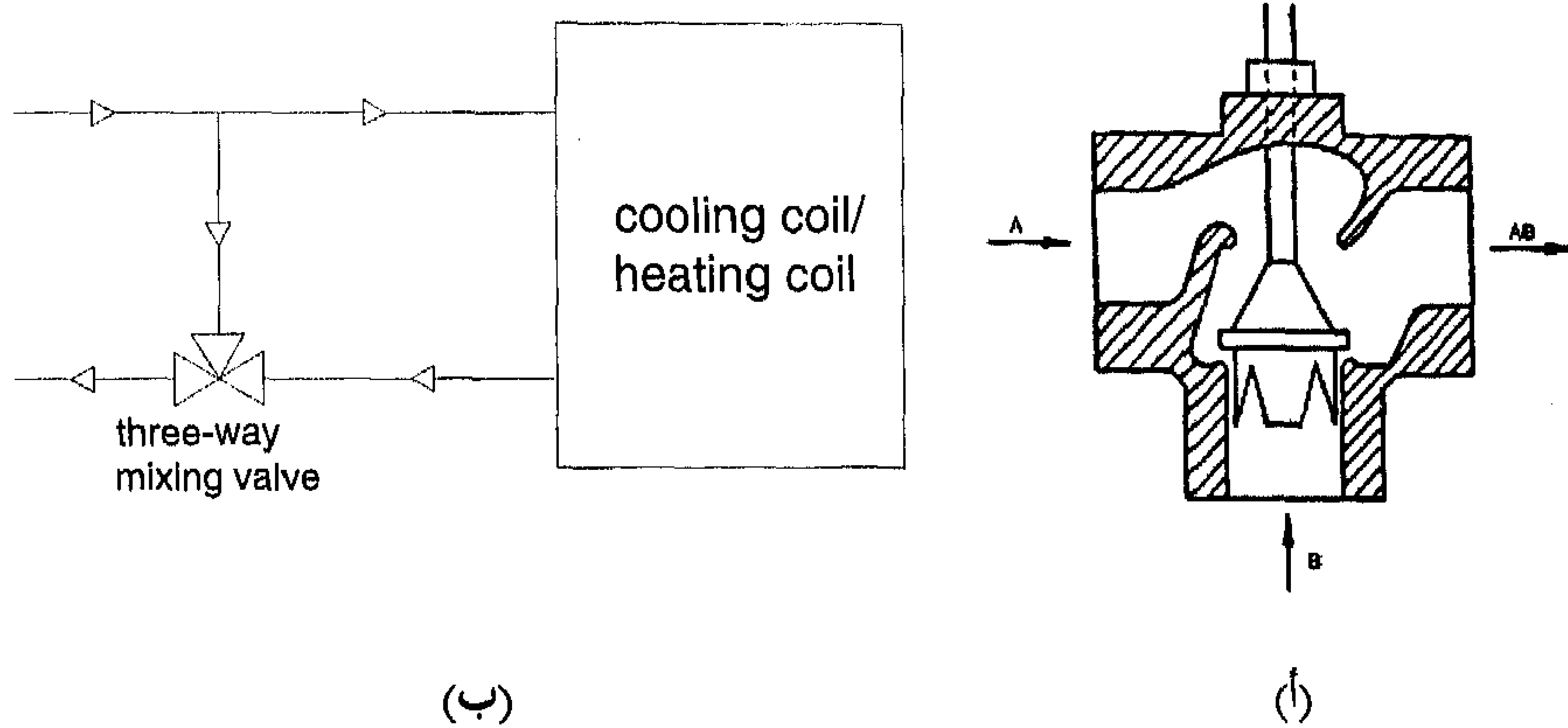


(أ)

الشكل رقم (٣،١٨). (أ) صمام ثلاثي تحويل. (ب) صمام ثلاثي تحويل مركب على ملف تبريد.

- صمام خلط ثلاثي **Three-way mixing valve**

يحتوي على مدخلين ومخرج واحد كما هو موضح في الشكل رقم (٣,١٩أ). يركب الصمام عند مخرج الملف ويعمل الصمام على السماح لبعض الماء بالمرور خلال ملف التبريد والجزء الأخير يعود إلى خط توزيع الماء كما يوضح الشكل رقم (٣,١٩ب). نسبة معدل السريان المحول إلى الملف يعتمد على الحمل الحراري. تكلفة الصمام الثلاثي الخلط ارخص من تكلفة الصمام الثلاثي التحويل.



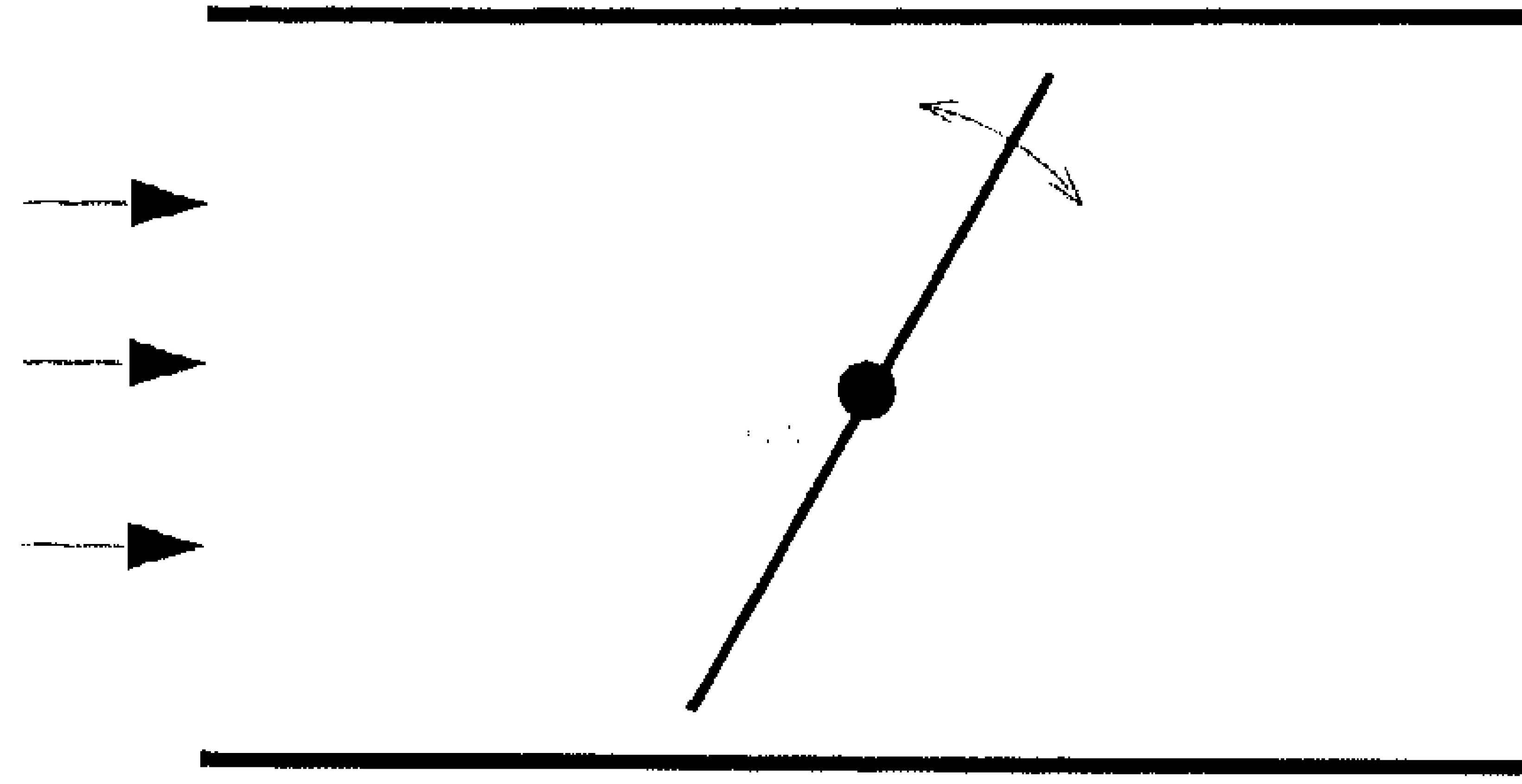
الشكل رقم (٣،١٩). (أ) صمام ثلاثي خلط. (ب) صمام ثلاثي خلط مركب على ملف تبريد.

(٣،٢،٣) خوانق الهواء Dampers

خانق الهواء عبارة عن حاجز هواء قابل للضبط يستخدم في مجاري الهواء للتحكم بسريان الهواء أو غلق مجرى هواء. تشتمل خوانق الهواء على خانق هواء فراشة وخانق متعدد الريش و خانق هواء مُجزيء و خانق هواء غلق.

(٣،٢،٣،١) خانق هواء فراشة butterfly damper

عبارة عن أداة تحتوي على ريشة واحدة متصلة بمحور في مركز المجرى كما يوضح الشكل رقم (٣,٢٠). يستخدم غالباً لغرض الاتزان وكذلك للغلق عندما يكون الإغلاق المحكم غير مهم.



الشكل رقم (٣،٢٠). خانق هواء فراشة.

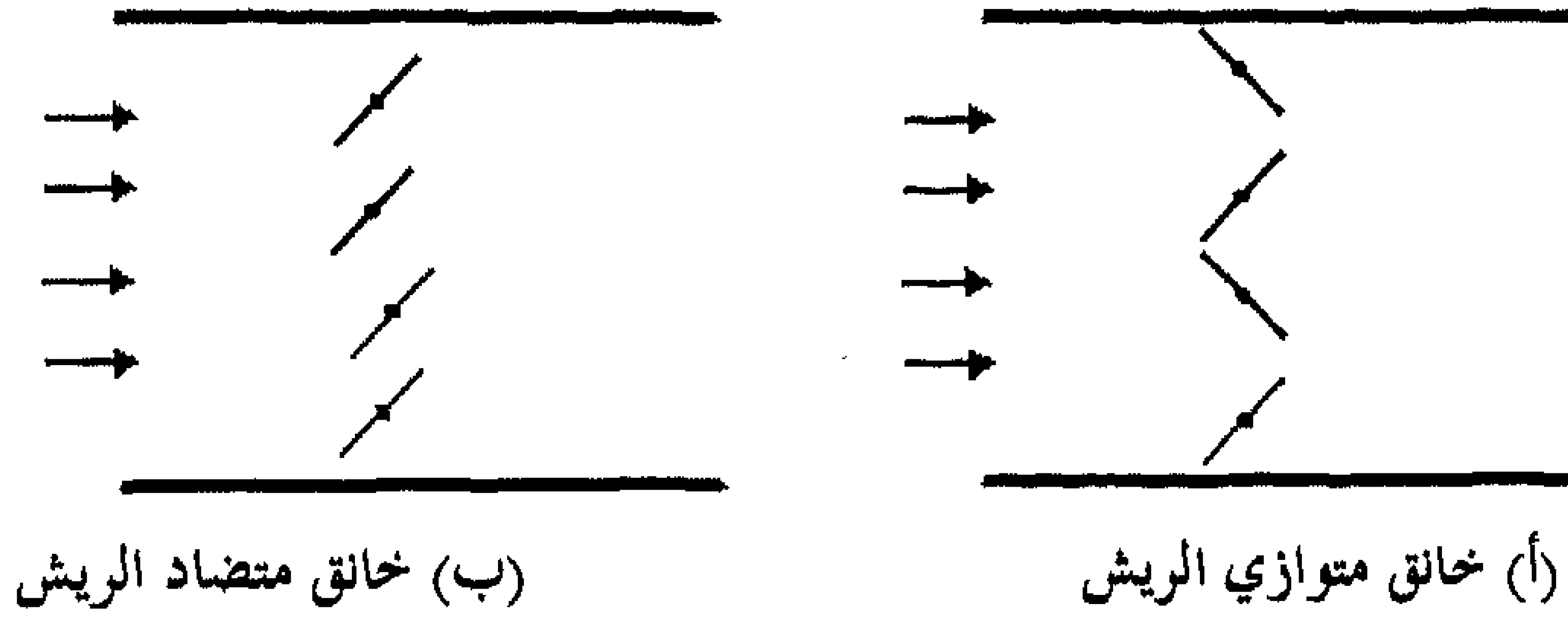
(٣،٢،٣،٢) خانق متعدد الريش Multiblade damper

عبارة عن خانق يتألف من مجموعة من الريش على شكل فراشة تتحرك معاً. يستخدم الخانق المتعدد الريش في التحكم ذي الموضعين وكذلك في التحكم التناسبي.

يوجد نوعان من الخوانق المتعددة الريش:

- خوانق بريش متوازية parallel-blade dampers.
- خوانق بريش متضادة Opposed-blade dampers.

الخوانق المتوازية الريش تتحرك معا في نفس الاتجاه (الشكل رقم ٣,٢١أ). بينما في الخوانق المتضادة كل ريشتين متجاورتين تتحرك باتجاه متعاكس (الشكل رقم ٣,٢١ب). تتميز الريش المتضادة بأنها أفضل في خواص الخنق من الريش المتوازية ويحصل توزيع متماثل للهواء.



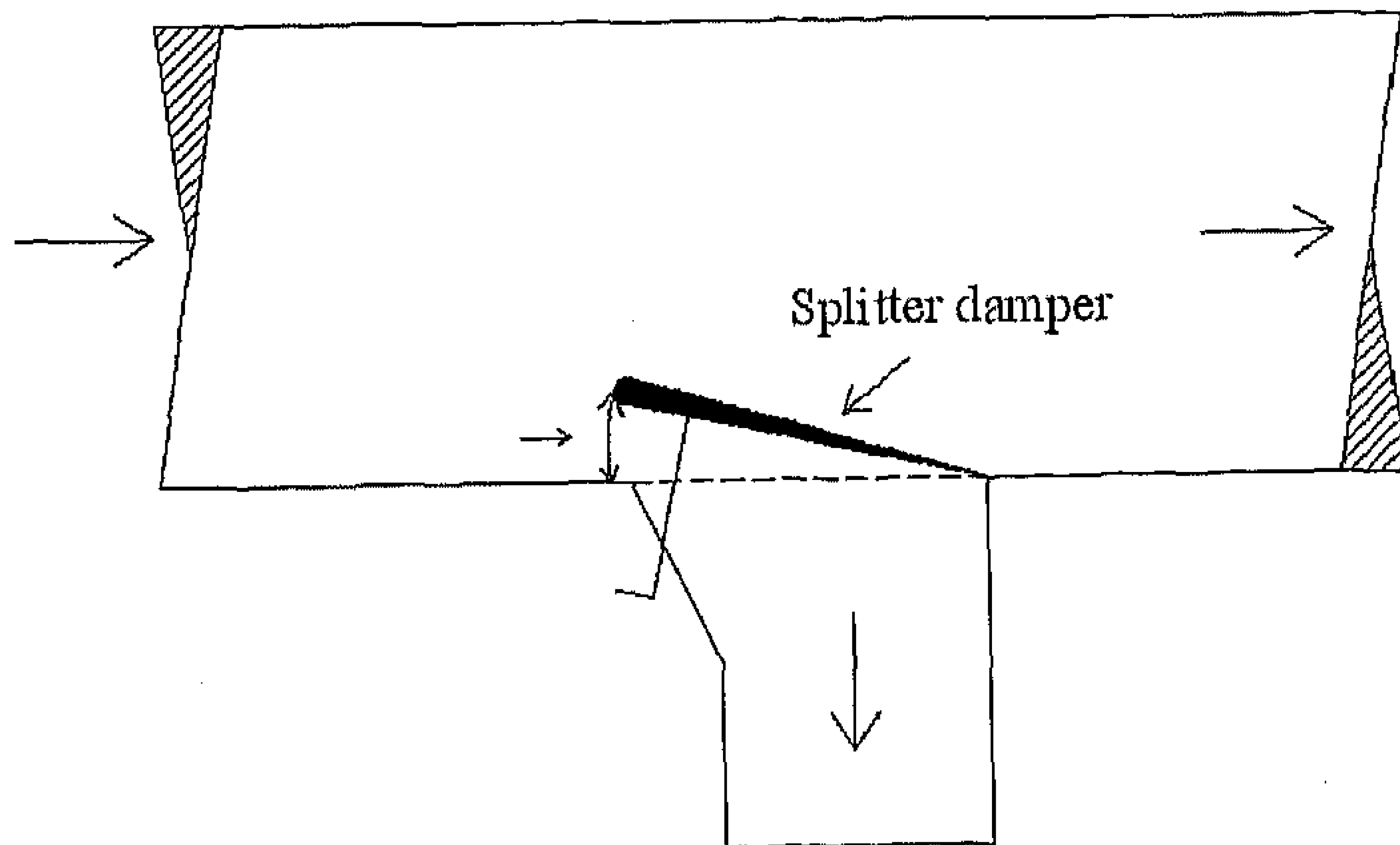
الشكل رقم (٣،٢١). خوانق متعددة الريش.

في الغالب تستخدم الريش المتوازية في التحكم ذي الموضعين ؛ لأنها أقل تكلفة بينما تستخدم الريش المتضادة في التحكم التناسبي.

(٣،٢،٣،٣) خانق هواء مُجزيء Splitter damper

يُصنّع جزءاً من الوصلات (fitting) في **مجاري الهواء**. تكون مهمة هذه الخوانق تغيير كمية معدل السريان في حالة وجود مجرى فرعي متصل بمجرى رئيسي كما يوضح الشكل رقم (٣,٢٢)، لذلك يستخدم لغرض الحصول على الاتزان المناسب.

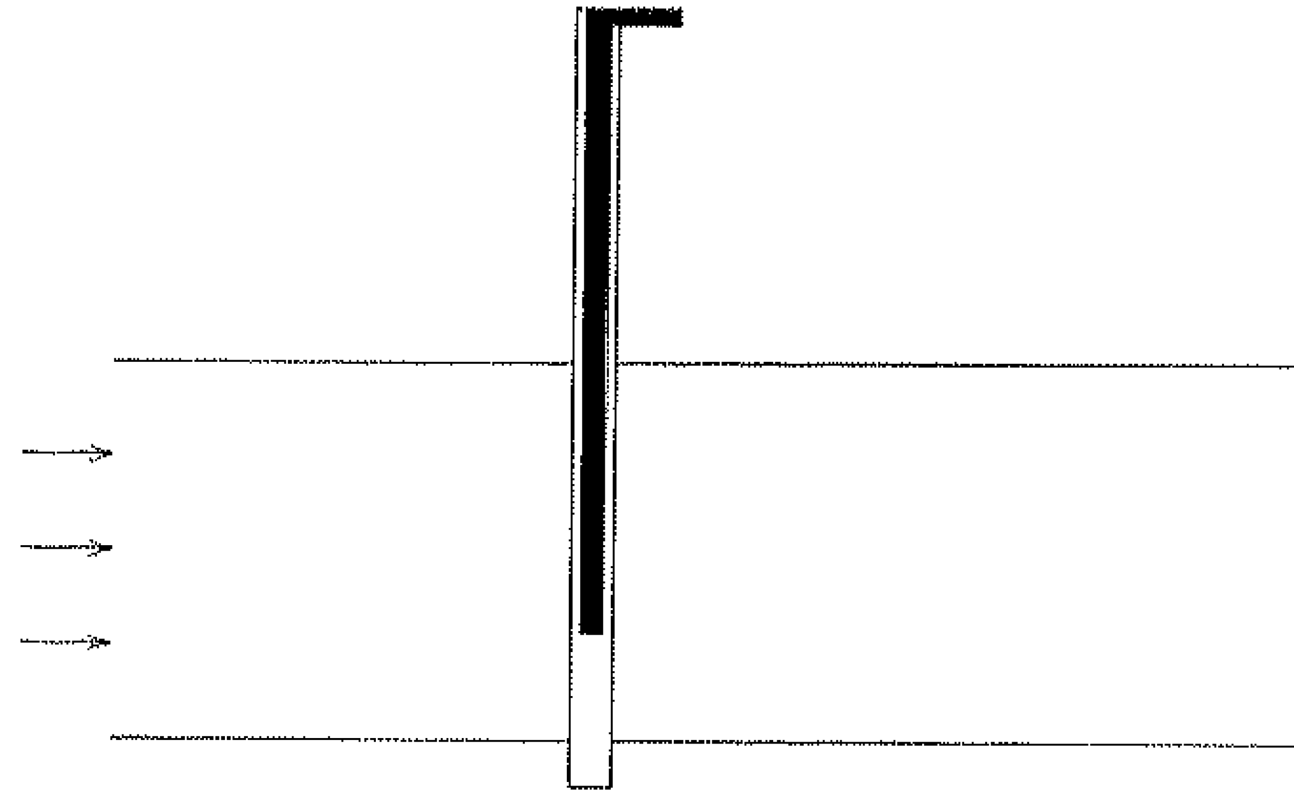
لا ينصح باستعمال هذا النوع من الخوانق. يمكن استخدام خانق هواء فراشة في كل مجرى بدلاً من خانق هواء مُجزيء.



الشكل رقم (٣،٢٢). خانق هواء مُجزيء.

(٣،٢،٣،٤) خانق منزلق Slide damper

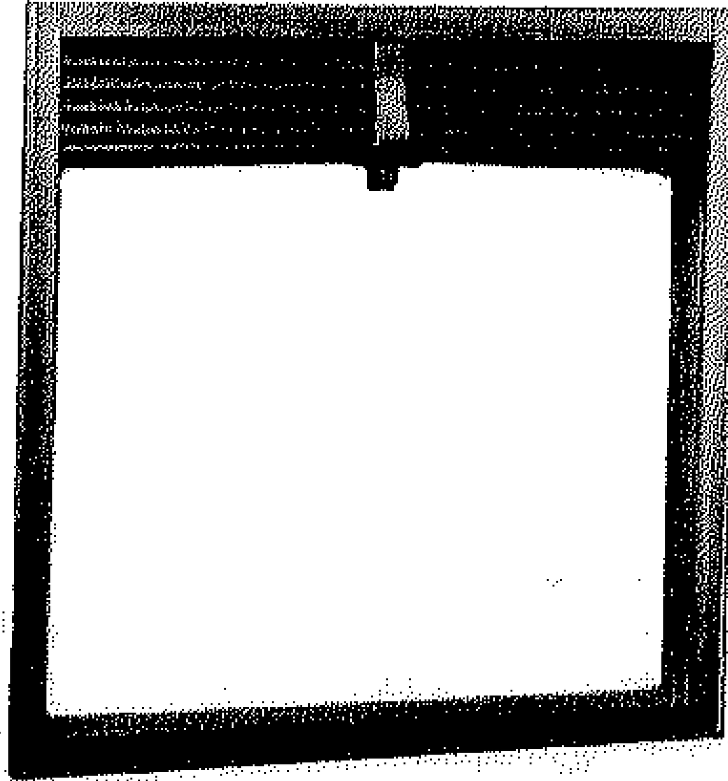
عبارة عن خانق ينزلق داخل المجرى كما يوضح الشكل رقم (٣,٢٣). يستخدم بشكل رئيسي لغرض غلق وفتح مجرى العادم. عندما يكون مفتوح لا يؤثر على حركة الهواء في المجرى وعندما يغلق يضمن عدم تسرب الهواء.



الشكل رقم (٣،٢٣). خانق منزلق.

(٣،٢،٣،٥) خانق هواء غلق Shutter damper

يوضح الشكل رقم (٣,٢٤) هذا النوع من الخوانق. يغلق المجرى في حالة حدوث حريق لمنع انتشار اللهب إلى الأماكن المكيفة الأخرى خلال المجاري. يتميز بنفس الميزة التي يتميز بها الخانق المنزلق في كون الخانق لا يمثل أي إعاقة في حالة كونه مفتوحاً.



الشكل رقم (٣،٢٤). خانق هواء غلق (ref. 5).

(٣،٣) طرق التحكم في التكييف

Methods Of Air-Conditioning Control

(٣،٣،١) التحكم بنسبة الهواء الخارجي Outdoor air proportion control

إدخال الهواء الخارجي إلى المكان المكيف يعتبر ضرورياً عندما يكون المكان مشغولاً بأفراد. عند تصميم نظام التكييف يخصص حوالي ١٠٪ إلى ٢٠ ٪ من مجموع هواء التغذية للهواء الخارجي لغرض التهوية.

في بعض التطبيقات الخاصة مثل غرف العمليات في المستشفيات وغرف المختبرات يكون جميع هواء التغذية من الهواء الخارجي ولا يوجد إعادة تدوير للهواء الراجع.

متطلبات التحكم بنسبة الهواء الخارجي تقتضي:

- ضبط نقطة الخلط عند درجة حرارة محددة. على سبيل المثال تضبط نقطة الخلط عند درجة حرارة 13 °C إلى 14 °C
- الحفاظ على نسبة دنيا من الهواء الخارجي عند جميع ظروف التشغيل.

تحديد النسبة الدنيا للهواء الخارجي تكون ضرورية في حالة أن درجة حرارة الهواء الخارجي أكبر من درجة حرارة الهواء الراجع أما إذا كانت درجة حرارة الهواء الخارجي أقل من ذلك فأن الشرط الأول لمتطلبات التحكم بنسبة الهواء الخارجي يضمن أن تكون نقطة الخلط في حدود 13 °C حتى لو كانت درجة حرارة الهواء الخارجي منخفضة جداً حيث نجد أنه عند ٢٠٪ هواء خارجي يمكن الحصول على درجة حرارة خلط t_m= 13 °C إذا كانت درجة حرارة الراجع 25 °C وكانت درجة الحرارة الخارجية t_o = -35 °C ويتم حساب ذلك من العلاقة الآتية :

$$t_m = 0.2t_o + 0.8t_R$$

يمكن التحكم بنسبة الهواء الخارجي إما عن طريق الثيرموستات وأما عن طريق الانثالبي.

(٣،٣،١،١) التحكم بواسطة الثيرموستات Thermostat Control

الشكل رقم (٣,٢٥) يوضح تغير نسبة الهواء الخارجي وفقا لدرجة الحرارة الخارجية لتلبية متطلبات التحكم بنسبة الهواء الخارجي بواسطة الثيرموستات، تكون نسبة الهواء الخارجي عند النسبة الدنيا (٢٠٪ في هذه الحالة) عند درجة حرارة -31 °C وتزيد إلى أن تصبح 100% عندما تصل درجة حرارة الهواء الخارجي درجة حرارة التغذية (13 °C في هذه الحالة) وتستمر كذلك إلى أن تصل درجة حرارة الهواء الخارجي درجة حرارة الهواء الراجع (24 °C في هذه الحالة). بعد أن تتجاوز درجة حرارة الهواء الخارجي درجة حرارة الهواء الراجع تعود نسبة الهواء الخارجي إلى الحد الأدنى.

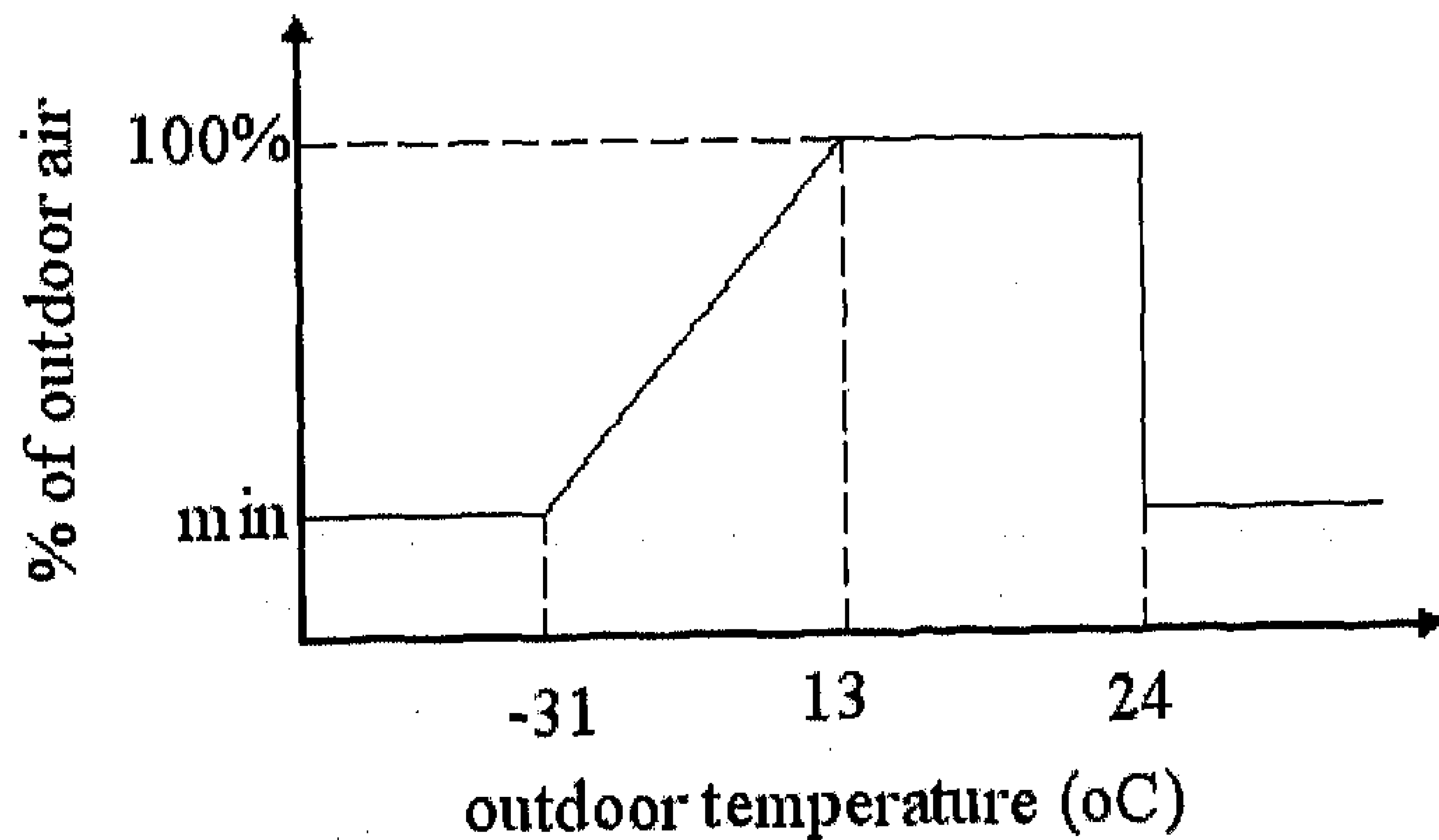
عملية التحكم موضحة في الشكل رقم (٣,٢٦). يكون التحكم في البداية عن طريق حاكم درجة الحرارة T_1 طالما أن درجة الحرارة الخارجية أقل من درجة حرارة الهواء الراجع. يعمل حاكم درجة الحرارة T_1 على التحكم بالخوانق لزيادة نسبة الهواء الخارجي وخفض نسبة الهواء الراجع مع زيادة درجة الحرارة الخارجية. عند وصول قيمة درجة الحرارة الخارجية إلى قيمة درجة حرارة التغذية يعمل الحاكم على إغلاق خانق الهواء الراجع وفتح خانق الهواء الخارجي بشكل كامل ليصبح جميع هواء التغذية من الهواء الخارجي تستمر العملية إلى أن تصل درجة حرارة الخلط درجة حرارة الغرفة عند ذلك يأخذ حاكم درجة الحرارة الخارجي T_2 التحكم وتكون مهمته إعادة الخوانق إلى وضع الاحتفاظ بالحد الأدنى من الهواء الخارجي.

الجدير بالذكر أنه على الرغم من أن الهواء الخارجي يجب أن يدخل إلى فضاء التكييف في جميع الظروف إلا أنه يجب أن يحتوي مجرى النسبة الدنيا للهواء الخارجي

على خانق كما يوضح الشكل رقم (٣،٢٦) وذلك للسماح لغلق الهواء الخارجي عند الحاجة إلى ذلك. الحالات التي تتطلب غلق خانق الهواء كلياً مثل نظام تكييف مصمم للعمل في فصل الصيف فقط. عدم إغلاق الخانق يسمح بالهواء الخارجي البارد في فصل الشتاء بالدخول إلى وحدة مناولة الهواء، فيتجمد الماء داخل الملف مما يؤدي إلى ضرر لأنابيب ملف التبريد. أيضاً في حالة أن الهواء الخارجي مليء بالأتربة يمكن غلق مجرى الهواء الخارجي مؤقتاً حتى تتحسن حالة الهواء الخارجي وهكذا يكون الخانق من نوع "المغلق عادةً" (Normally closed position) وذلك حتى يغلق عندما يكون النظام مغلق ويكون مفتوح في حالة عمل النظام.

(٣،٣،١،٢) التحكم بواسطة الانثالبي Enthalpy control

ليس من الضروري أن يحصل توفير في الطاقة عندما تكون درجة الحرارة الخارجية أقل من درجة الهواء الراجع ؛ لأن هناك عامل آخر يساهم في زيادة أو خفض الطاقة المطلوبة. هذا العامل هو محتوى الرطوبة للهواء. لذلك فإن الاعتماد على درجة الحرارة الجافة في عملية التحكم عندما يُستخدم حاكم درجة الحرارة لا يضمن التوفير في الطاقة تحت جميع الظروف.



الشكل رقم (٣،٢٥). تغير نسبة الهواء الخارجي مع درجة الحرارة الخارجية.

الشكل رقم (٣،٢٦). التحكم في نسبة الهواء الخارجي عن طريق الثيرموستات. OA: الهواء الخارجي، RA: الهواء الراجع ، EA: الهواء العادم.

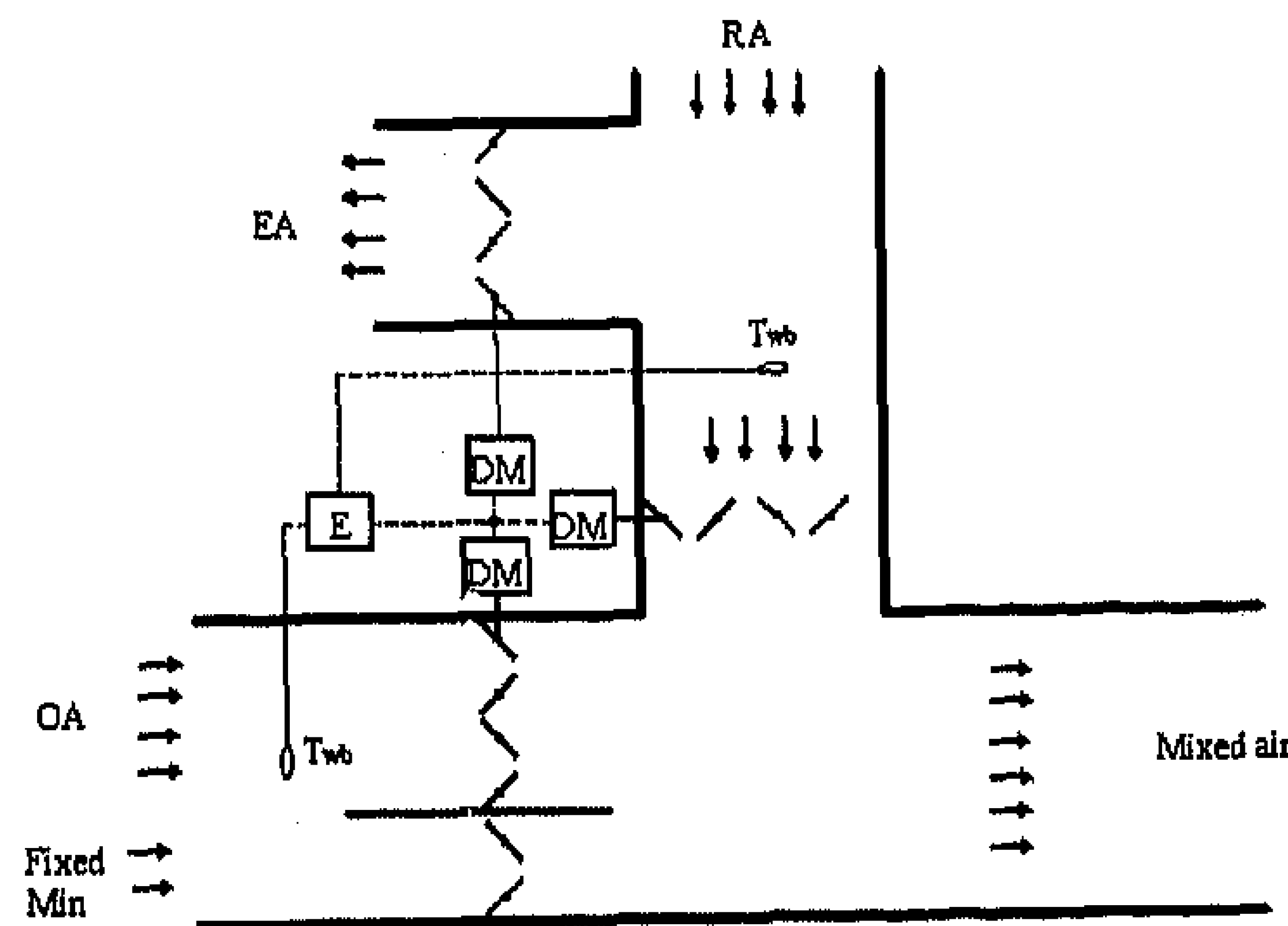
للأخذ في الاعتبار درجة الحرارة الجافة ومحتوى الرطوبة معاً في عملية التحكم يمكن استخدام حاكم الانثالبي كما في الشكل رقم (٣,٢٧) حتى يحصل التوفير في الطاقة عند جميع الظروف الخارجية. لتوضيح ذلك ندرس الخريطة السيكرمترية في الشكل رقم (٣,٢٨). المنطقة X تمثل منطقة الأجواء الرطبة والمنطقة Y تمثل منطقة الأجواء الجافة.

في المنطقة ذات المناخ الرطب عندما تكون الظروف الخارجية في المنطقة X، تكون درجة الحرارة الخارجية أقل من درجة حرارة الهواء الراجع . في هذه الحالة عندما يكون الحاكم هو الثيرموستات سوف يتم استخدام نسبة هواء خارجي أكبر من الحد الأدنى وسوف تصل النسبة إلى ١٠٠٪ عندما تكون درجة الحرارة الخارجية أكبر من درجة حرارة الخلط كما يوضح الشكل رقم (٣,٢٧). بينما حاكم الانثالبي يضبط نسبة الهواء الخارجي على الحد الأدنى ؛ لأن الانثالبي الخارجي أكبر من الانثالبي للهواء الراجع.

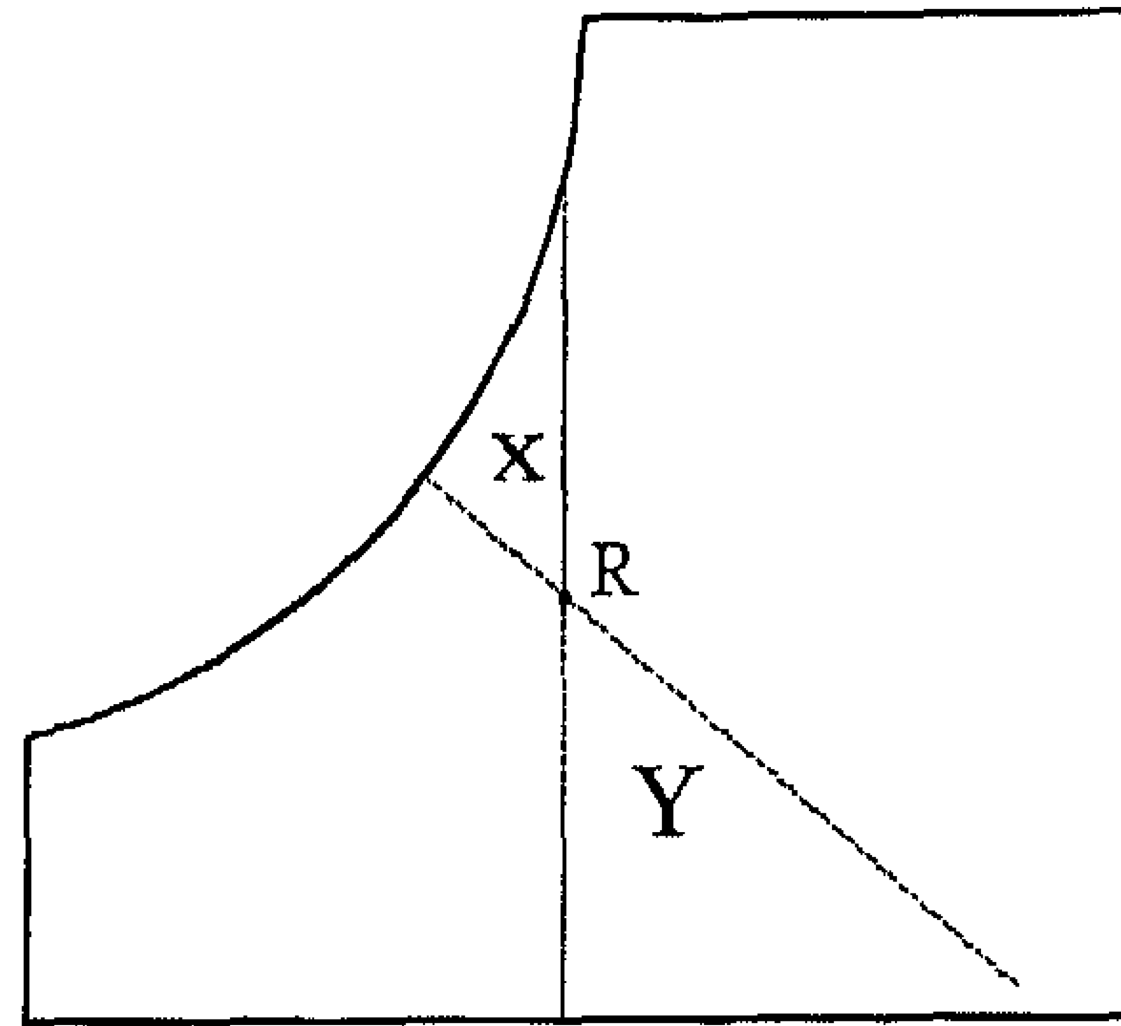
التوفير في الطاقة سوف يحصل عند استخدام حاكم الانثالبي ؛ لأن ملف التبريد يجب أن يزيل الحمل الكلي.

في الحالة الأخرى للظروف الخارجية في المنطقة Y ، سوف يضبط الثيرموستات نسبة الهواء الخارجي على الحد الأدنى ؛ لأن درجة الحرارة الخارجية أكبر من درجة حرارة الهواء الراجع، بينما حاكم الانثالبي سوف يضبطها على الحد الأعلى ؛ لأن الانثالبي للهواء الخارجي أقل من الانثالبي للهواء الراجع. إذا في حالة الأجواء الرطبة سوف يكون الحمل على الملف أقل في حالة استخدام حاكم الانثالبي.

إذا من منظور حفظ الطاقة فأن استخدام حاكم الانثالبي للتحكم بنسبة الهواء الخارجي والهواء الراجع أفضل من حاكم درجة الحرارة. على الرغم من ذلك أظهرت بعض الدراسات أن المنفعة الاقتصادية الناتجة من استخدام حاكم الانثالبي بدلاً من الثيرموستات قليلة، فضلاً عن أن التحكم بواسطة الانثالبي صعب التنفيذ، حيث إنه من الصعب الحفاظ على دقة حاكم الانثالبي، كما أنه يحتاج إلى معايرة مستمرة. لذلك بعض خبراء التكييف يرون أنه من الصعوبة تبرير التعقيد الناتج من التكلفة الإضافية التي يتطلبها استخدام حاكم الانثالبي بدلاً من الثيرموستات.



الشكل رقم (٣،٢٧). التحكم في نسبة الهواء الخارجي عن طريق الانثالبي: الهواء الخارجي، RA: الهواء الراجع، EA: الهواء العادم، E: حاكم الانثالبي، T_{wb}: درجة الحرارة الرطبة.

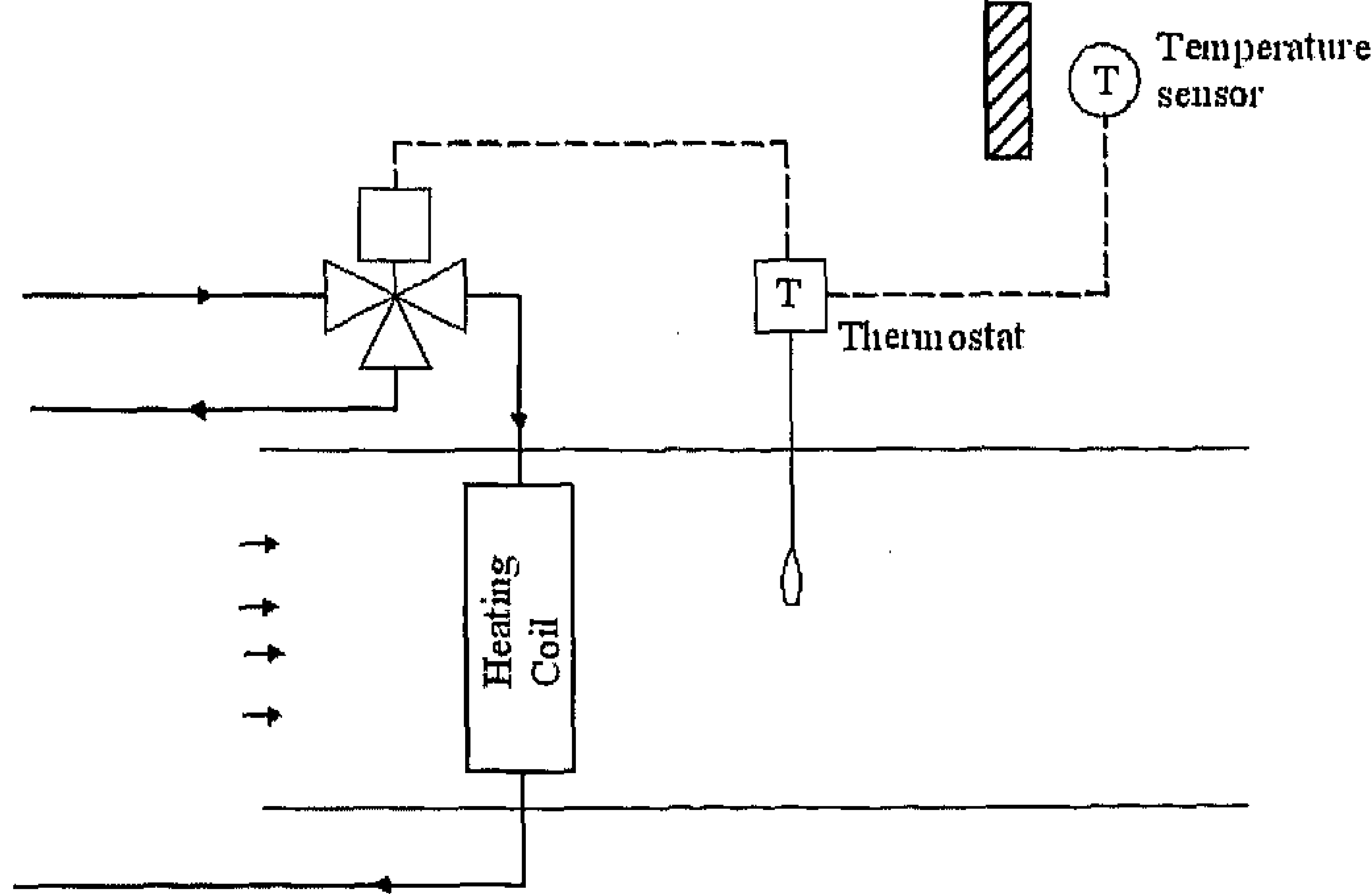


الشكل رقم (٣،٢٨). ظروف الهواء الخارجي لتوضيح التحكم بواسطة الانثالبي.

(٣،٣،٢) التحكم عن طريق درجة الحرارة الخارجية Outdoor Temperature Reset

من طرق التحكم المعمول بها إدراج درجة الحرارة الخارجية في عملية التحكم. يكون مهمة درجة الحرارة الخارجية إعادة ضبط الحاكم. على سبيل المثال يمكن لدرجة الحرارة الخارجية التحكم بنقطة ضبط حاكم درجة حرارة (الثيرموستات) للتحكم بدرجة حرارة التغذية لملف تسخين كما هو موضح في الشكل رقم (٣,٢٩). في حالة ارتفاع درجة الحرارة الخارجية يرسل الحاس إشارة إلى الثيرموستات لإعادة ضبطه إلى نقطة أقل. عند ذلك يرسل الثيرموستات إشارة إلى أداة التحكم (الصمام الثلاثي مثلاً) لخفض معدل الماء الساخن المار خلال الملف. بهذه الطريقة يتم تلافي التسخين الزائد (overheating) للمكان المكيف في الأيام غير الباردة نسبياً. بهذه الطريقة أيضاً يتم التوفير في الطاقة عند عدم الحاجة إليها. وعند انخفاض درجة الحرارة الخارجية يعمل حاس درجة الحرارة الخارجية بإعادة ضبطه مرة أخرى وبذلك يرسل الثيرموستات إشارة إلى أداة التحكم بالملف لزيادة معدل السريان. وهكذا إدراج درجة الحرارة الخارجية في عملية التحكم يكون مفيداً إذا كان نصيب الحمل الخارجي من الحمل

الكلي كبيراً مثل التكييف في المناطق الحارة أو الباردة، وكان مصدر نظام التكييف بعيداً عن الحيز المكيف.



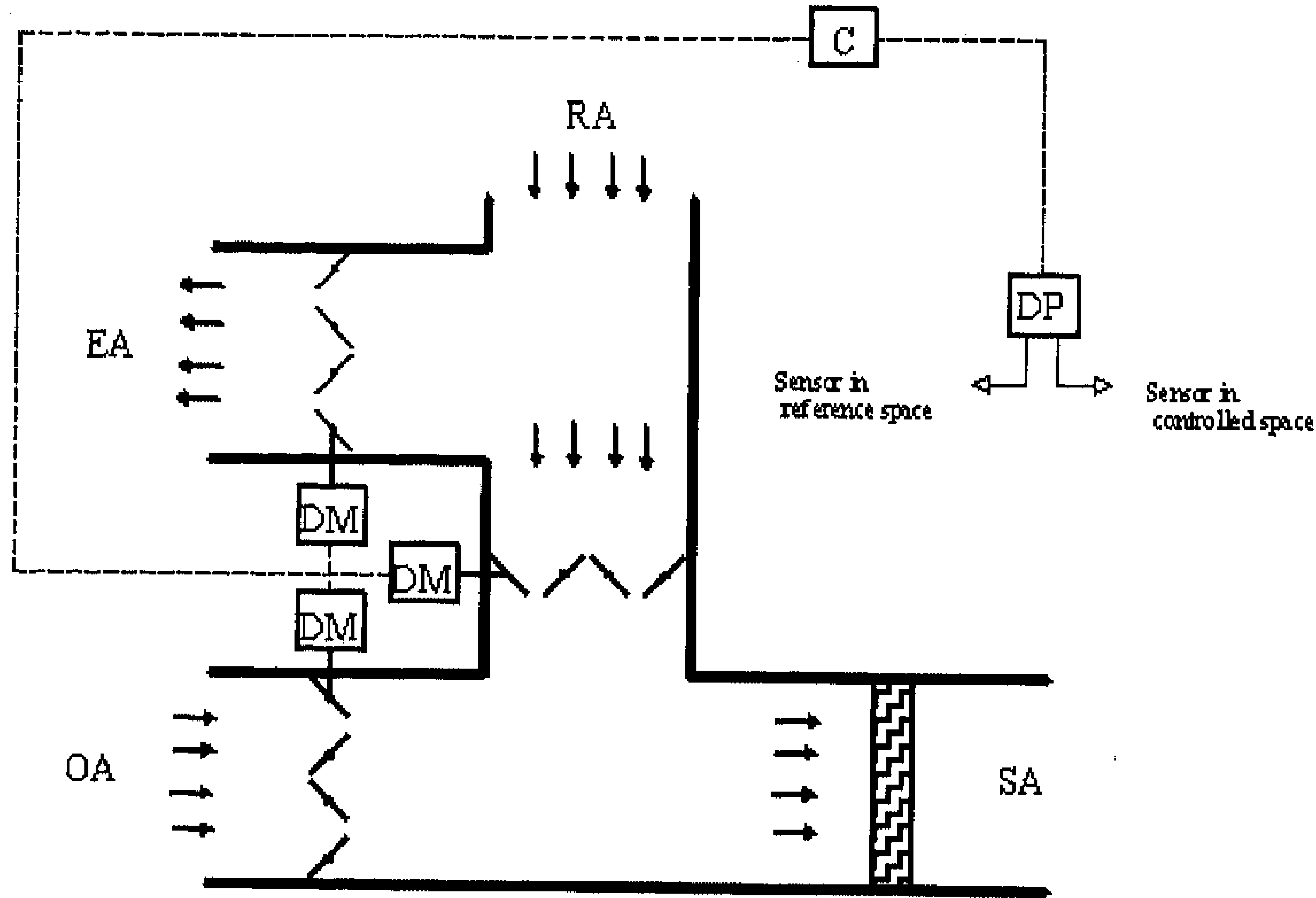
الشكل رقم (٣،٢٩). التحكم عن طريق درجة الحرارة الخارجية.

(٣،٣،٣) التحكم في الضغط الإستاتيكي Static pressure control

تنشأ الحاجة إلى التحكم بالضغط الإستاتيكي إذا كان من الضروري عزل المكان المُكيف عن الغرف المجاورة. إذا كان المراد عدم السماح للهواء من الغرف المجاورة بالدخول إلى الفضاء المكيف فلا بد أن يكون الضغط الإستاتيكي في الفضاء المكيف موجباً بمعنى أنه أعلى من الضغط في الغرف المحيطة به. الضغط الموجب يكون مرغوباً فيه في غرف العمليات بالمستشفيات حيث يُمنع دخول الهواء من المناطق المجاورة حتى لا تنتقل العدوى إلى الشخص المعالج أثناء العملية. أيضاً في غرف تناول الطعام في المطعم، لا يرغب في وصول روائح الطعام وغيرها من مكان الطبخ إلى مكان تناول الطعام. من ناحية أخرى الضغط السالب يكون مرغوب فيه في غرف العزل للأمراض المعدية بالمستشفى حيث يضمن عدم انتقال العدوى إلى المرضى في الغرف المجاورة

وكذلك في دورات المياه والمطبخ في المطعم وفي المعامل الكيمائية يفضل الضغط السالب حتى لا يحدث انتشار للمواد الكيمائية الضارة بالبيئة الى المحيط الخارجي وغير ذلك من الأمثلة.

الشكل رقم (٣,٣٠) يوضح طريقة التحكم بالضغط الإستاتيكي. يعمل **حاكم الضغط** بمقارنة الضغط في المكان المكيف بنقطة إسناد تكون في المنطقة المجاورة. ممكن أن يكون الفرق في الضغط موجباً أو سالباً حسب الغرض من التحكم. إذا كان الفرق أكبر من قيمة محددة يعمل الحاكم على إعادة ضبط خوانق الهواء الخارجية والراجع والعادم بحيث يكون معدل الهواء العادم أكبر من الهواء الخارجي وإذا كان الفرق أقل من قيمة محددة يضبط الخانق بحيث يكون معدل الهواء العادم أقل من الهواء الخارجي.



الشكل رقم (٣،٣٠) . التحكم في الضغط الإستاتيكي. OA : الهواء الخارجي، RA: الهواء الراجع، EA: الهواء العادم، SA:هواء التغذية، DP: حاكم الضغط الفرقي (الفرق بين الضغط في المكان المكيف ونقطة إسناد).

تجدر الإشارة إلى أنه من غير الضروري وغير العملي أن يتم إبقاء الضغط في المكان المكيف عند ضغط أعلى من نقطة الإسناد بمقدار 25 kPa لأن ذلك قد ينتج عنه صعوبة في فتح الأبواب و حدوث ضوضاء عند غلقها. أيضاً يتطلب إبقاء فرق الضغط أعلى من 25 kPa وجود وسائل خاصة لإحكام السد ومنع التسرب من وإلى المكان المكيف.

المشكلة التي تواجه مصممي التحكم في الضغط الإستاتيكي الدقة التي ينبغي أن تتوفر في الحاس حتى يستطيع قراءة الفروقات الصغيرة في الضغط. من انسب الطرق المستخدمة في الوقت الحاضر. وهي تُغني عن قياس الضغط بشكل مباشر. استخدام فوهة (orifice) في الجدار الفاصل بين المنطقة المكيفة ومنطقة الإسناد حيث يوجد أداة لقياس السرعة، فيعمل الحاكم على إبقاء السرعة المناظرة لفرق الضغط المُراد عند قيمة ثابتة عن طريق التحكم بخوانق الهواء الراجع والعادم والخارجي.

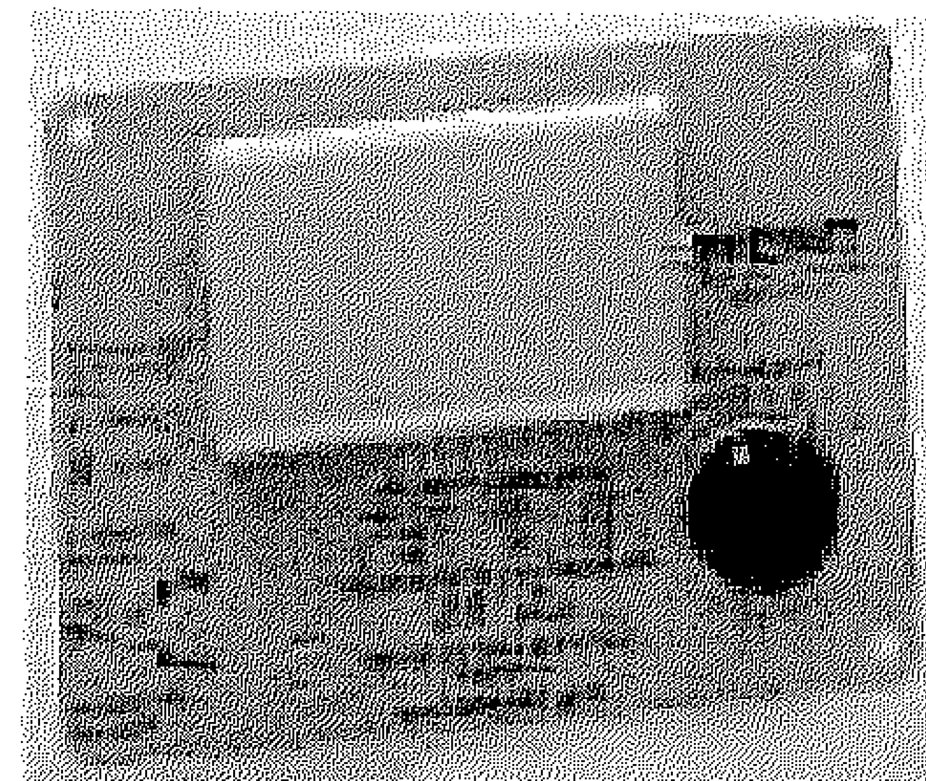
(٣،٣،٤) التحكم في الرطوبة Humidity control

أنواع حواكم الرطوبة الأكثر استخداماً: الحاكم الميكانيكي والحاكم الكهربائي. الحاكم الميكانيكي يستخدم مواد تتغير خواصها الميكانيكية مع التغير في الرطوبة مثل طول مادة النايلون أما الحاكم الكهربائي فيستخدم أدوات تتأثر خواصها الكهربائية بالتغير في الرطوبة مثل المكثف الكهربائي الذي تتغير سعته الكهربائية مع التغير في الرطوبة.

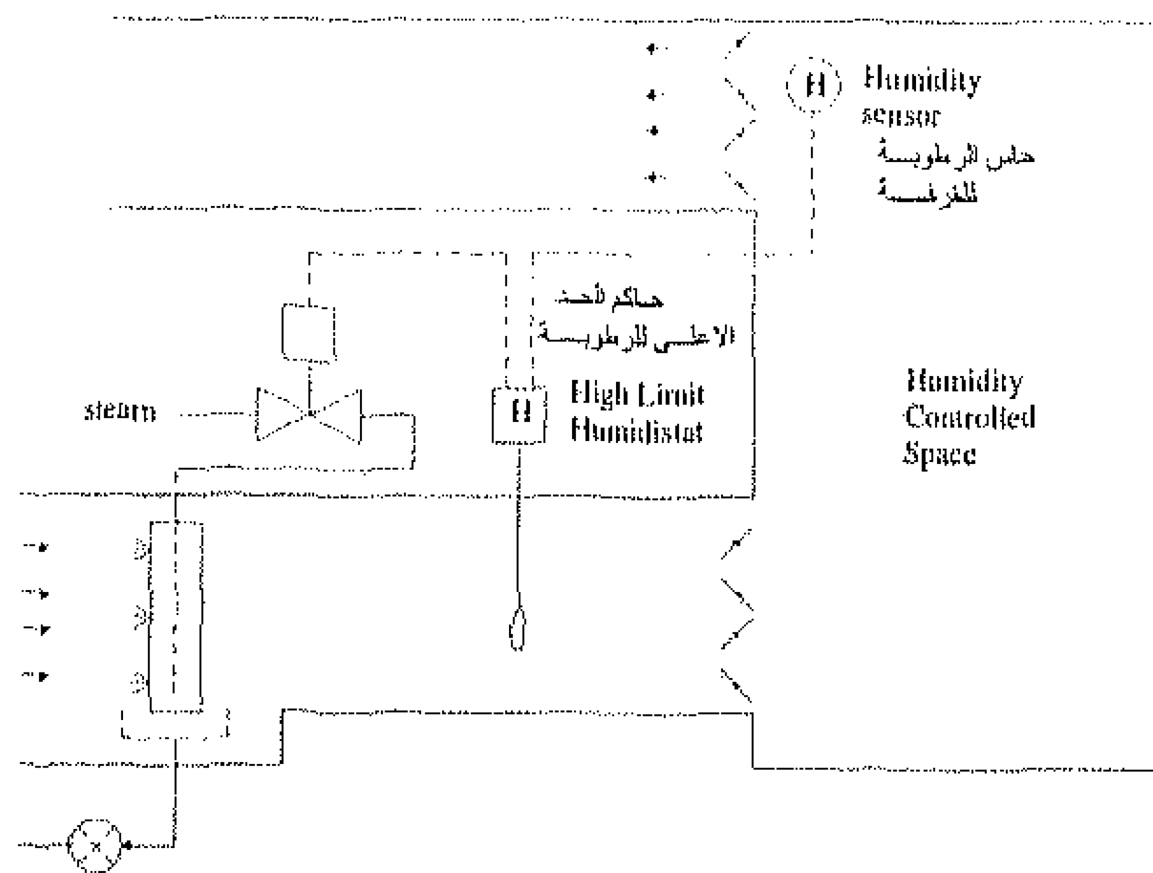
من عوائق التحكم بالرطوبة تجاوز كمية الرطوبة الحد الأعلى أو ما يسمى بالترطيب المفرط (excessive humidification). يعزى سبب الترطيب المفرط إلى تأخر إحساس حاكم الرطوبة بزيادة محتوى الرطوبة بواسطة المرطب. لذلك للتحكم في الرطوبة يستخدم عادة حاكمان حاكم رطوبة يركب في الفضاء المكيف أو عند مدخل الهواء الراجع ويسمى حاكم رطوبة الغرفة (room humidistat) موضح في الشكل رقم

(٣،٣١) والحاكم الأخر يركب في مجرى هواء التغذية بعد المرطب ويسمى حاكم الحد الأعلى للرطوبة (High limit humidistat) . يوضح الشكل رقم (٣،٣٢) عملية التحكم حيث يعمل حاكم رطوبة الغرفة على إعادة ضبط حاكم الحد الأعلى للرطوبة. مثلاً إذا كان المطلوب الإبقاء على الرطوبة النسبية في الفضاء المكيف عند ٤٠ ٪ وارتفعت الرطوبة في الحيز إلى ٤٥٪ فان حاكم رطوبة الغرفة يعمل على خفض نقطة الضبط لحاكم الرطوبة في هواء التغذية إلى٣٠ ٪ . في المقابل عندما تنخفض الرطوبة في الحيز إلى ٣٥٪ فأن حاكم الرطوبة في الغرفة يُعيد ضبط حاكم الرطوبة في مجرى هواء التغذية إلى ٥٠ ٪ وهكذا. في كلتا الحالتين يرسل حاكم الحد الأعلى للرطوبة إشارة إلى أداة التحكم بالمرطب والتي تعمل على زيادة أو خفض معدل الترطيب. يكون التحكم المعمول به أما من النوع ذو الموضعين وإما غالبا تحكم تناسبي.

إذن استخدام حاكمين يعمل على تجنب الرطوبة الزائدة في الفضاء المكيف ومجرى الهواء الذي يتسبب في تكثّف البخار في مجاري الهواء. كذلك استخدام حاكمين يُجنب الانخفاض المتدني للرطوبة في الفضاء المكيف.

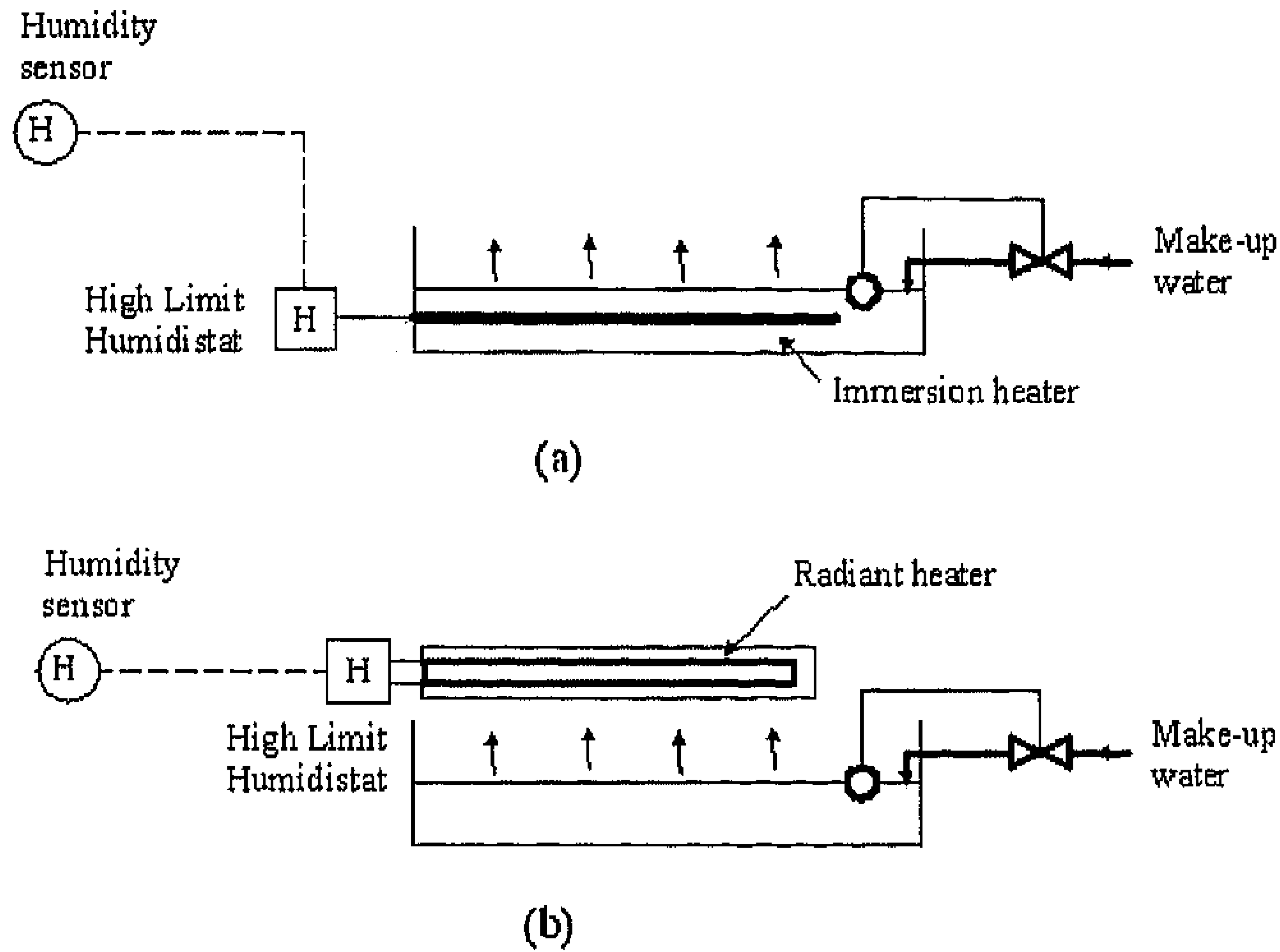


الشكل رقم (٣،٣١). حاكم الرطوبة الغرفة.



الشكل رقم (٣،٣٢). التحكم في الرطوبة.

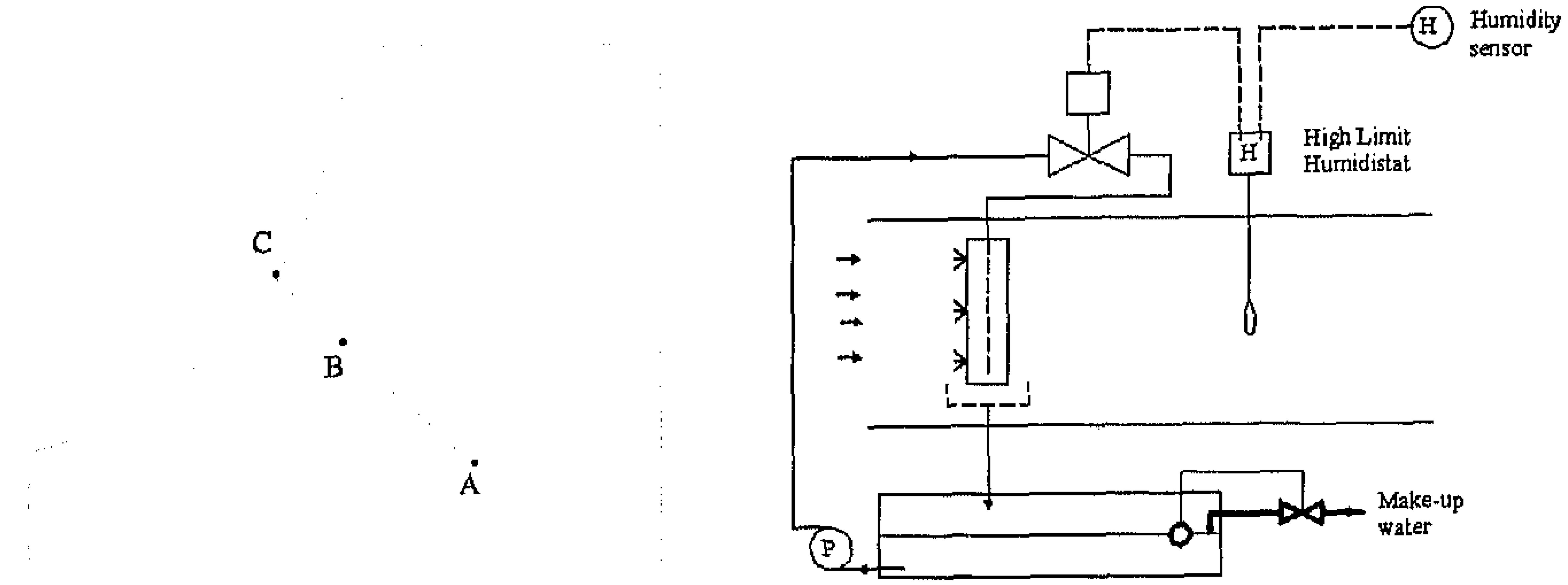
من طرق الترطيب **مرطب البخار** (steam humidifier) وهو عبارة عن صمام من النوع التناسبي يُغذي أنبوب مثقّباً مركباً في مجرى الهواء كما هو موضح بالشكل رقم (٣,٣٢) الموضح في الفقرة السابقة. هذا الأنبوب موضوع داخل غلاف متصل بسخان يعمل هذا الغلاف على حبس قطرات البخار المتكثّفة من الاختلاط بالهواء. القطرات المتكثفة تحدث غالبا عند بدء التشغيل عندما يكون المرطب بارد. يُغذى المرطب ببخار ماء يأتي من غلايات موضوعة لهذا الغرض.



الشكل رقم (٣،٣٣). طريقة الترطيب بالحوض الساخن.

على الرغم من أن مرطب البخار الطريقة الأكثر شيوعاً، إلا أن **هناك طرقاً** أخرى مثل الحوض الساخن كما يوضح الشكل رقم (٣,٣٣أ) وهي عبارة عن حوض يحتوي على ماء مغمور به سخان كهربائي (immersion heater). الماء المتبخر يختلط بالهواء وبالتالي يرفع محتوى رطوبته. يتم تعويض الماء من مصدر ماء مزود بعوامة.

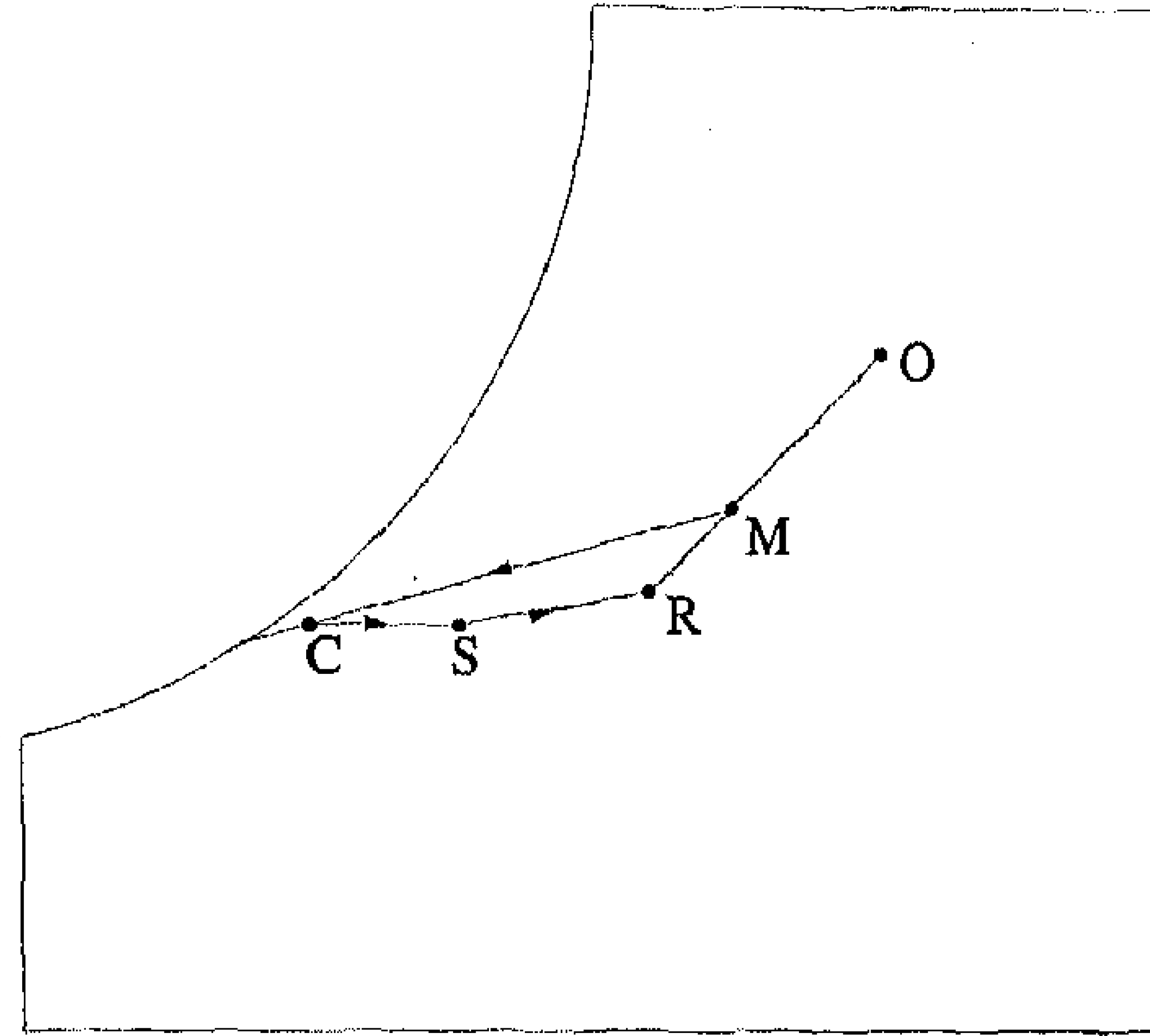
أيضاً بدلاً من غمر السخان في الماء يمكن استخدام السخان الإشعاعي (Radiant heater) فوق الحوض كما يوضح الشكل رقم (٣،٣٣ب).



(أ) الترطيب بطريقة الرش (ب) الخريطة السيكرومترية.

الشكل رقم (٣،٣٤). الترطيب بطريقة الرش و تمثيلها على الخريطة السيكرومترية.

أيضاً من طرق الترطيب الشائعة طريقة **رش رذاذ الماء** (sprays and atomizers). وبهذه الطريقة يتم تكسير الماء إلى قطرات صغيرة جدا (رذاذ) لجعلها أكثر قابيلة للتبخر والانتشار في الهواء. يتم تركيب المرطب الرشاش (spray humidifier) في مجرى الهواء ووضع مجمع في أسفل المرطب لإعادة الماء غير المتبخر إلى الحوض كما يوضح الشكل رقم (٣،٣٤أ) هذه الطريقة في الترطيب تصاحبها برودة لأن رذاذ الماء المتبخر يأخذ الحرارة الكامنة اللازمة للتحول إلى بخار من الهواء نفسه فتنخفض حرارته المحسوسة كما هو موضح سيكرومتريا في الشكل رقم (٣،٣٤ب). لذلك هذه الطريقة تعتبر مناسبة في فصل الصيف، حيث إن التبريد هو أيضاً من متطلبات التكييف.



الشكل رقم (٣،٣٥). التمثيل السيكرومتري لعملية التبريد مع إزالة رطوبة يتبعها إعادة تسخين.

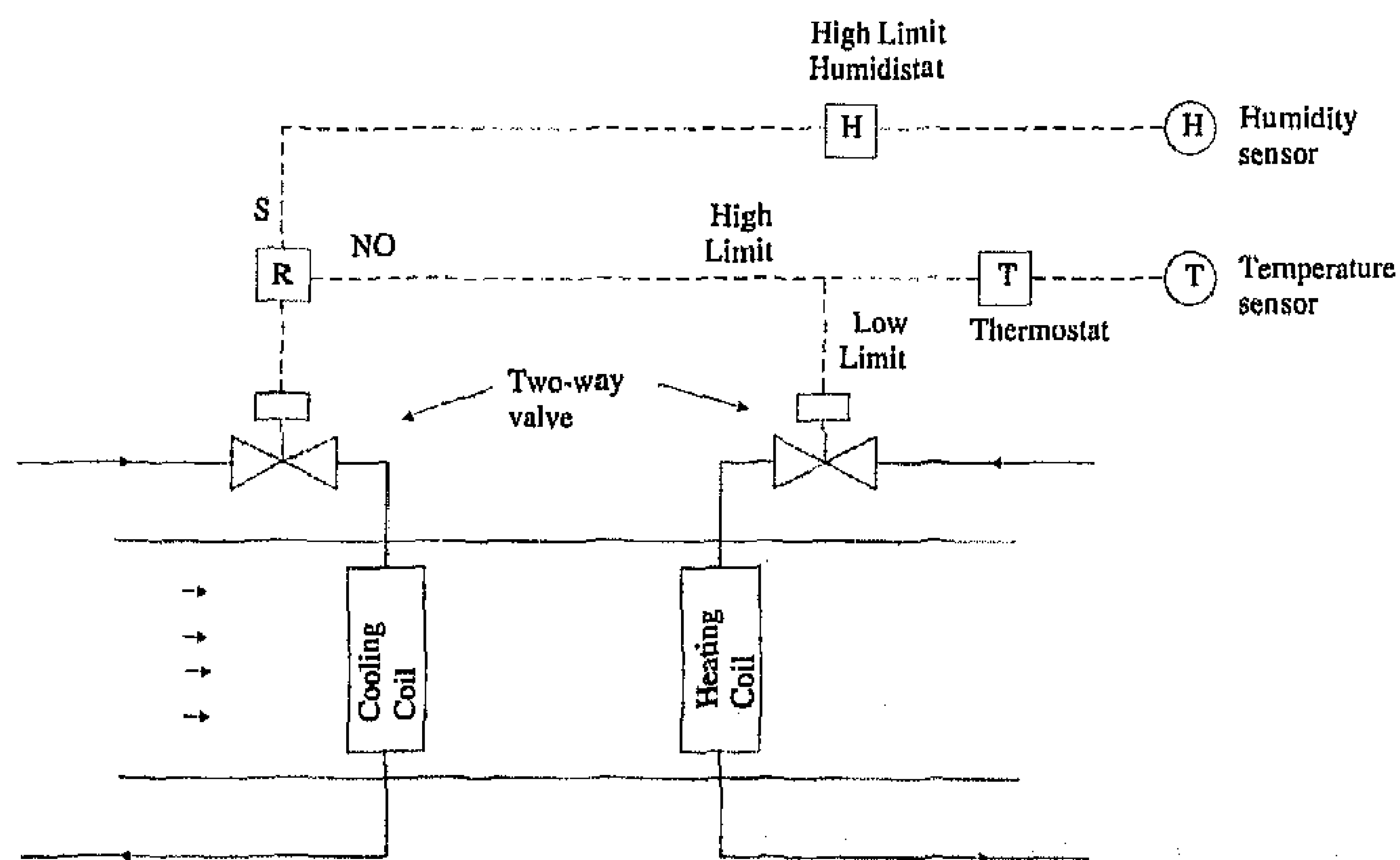
(٣،٣،٥) إزالة الرطوبة Dehumidification

في الأماكن الرطبة تكون مهمة منظومة التكييف التحكم بالرطوبة عبر وسائل لإزالة الرطوبة (Dehumidification). من هذه الوسائل الشائعة عملية التبريد التي يتبعها إعادة تسخين. من الطرق أيضاً استخدام مواد كيمائية قابلة لامتصاص الرطوبة.

(٣،٣،٥،١) تبريد وإعادة تسخين (Cooling and Reheat)

من الطرق لإزالة الرطوبة في فصل الصيف عملية التبريد مع إزالة رطوبة يتبعها إعادة تسخين. تمثيل هذه العملية على الخريطة السيكرومترية موضح في الشكل رقم (٣،٣٥) حيث يتم خلط الهواء الراجع (R) مع نسبة من الهواء الخارجي (O). يُمرر الخليط (M) بعد ذلك خلال ملف تبريد. حتى يحدث إزالة رطوبة للهواء خلال مروره في الملف لا بد أن تكون درجة حرارة سطح الملف أقل من درجة حرارة نقطة الندى لهواء الخليط. بعد مرور الهواء خلال الملف يفقد بعض الرطوبة ولكن تكون درجة حرارته عند خروجه من الملف (C) أقل من درجة حرارة التغذية (S) لذلك يتم إعادة تسخينه بواسطة ملف التسخين للحصول على درجة حرارة التغذي المناسبة.

عملية التحكم تتم عن طريق حاكم درجة الحرارة وحاكم الرطوبة معاً للوصول إلى ظروف التكييف المناسبة في الفضاء المكيف. الشكل رقم (٣،٣٦) يوضح عملية التحكم. إذا لم تتجاوز رطوبة الفضاء المكيف المستوى المرغوب فيه، يكون التحكم بواسطة الثيرموستات. يعمل الثيرموستات على التحكم بمعدل السريان خلال ملف التبريد للحصول على درجة الحرارة المناسبة في الفضاء المكيف. عندما ترتفع الرطوبة في الفضاء المكيف فوق نقطة الضبط يعمل الريلاى (R) على إيقاف الإشارة القادمة من الثيرموستات والسماح بالإشارة من حاكم الرطوبة بالمرور. مع ارتفاع محتوى الرطوبة في الفضاء المكيف فوق نقطة الضبط يرسل حاكم الرطوبة إشارة إلى أداة التحكم (الصمام) لزيادة معدل السريان خلال ملف التبريد للعمل على تكثيف بخار الماء خلال مرور الهواء في ملف التبريد لغرض خفض الرطوبة. عند وصول درجة حرارة الغرفة إلى نقطة الضبط الدنيا للثيرموستات يبدأ الثيرموستات بإمرار ماء ساخن إلى ملف التسخين أو تشغيل ملف كهربائي لإعادة تسخين الهواء لرفع درجة حرارة التغذية كما توضح الخريطة السيكرومتري في الشكل رقم (٣،٣٥) المشروح سابقاً.

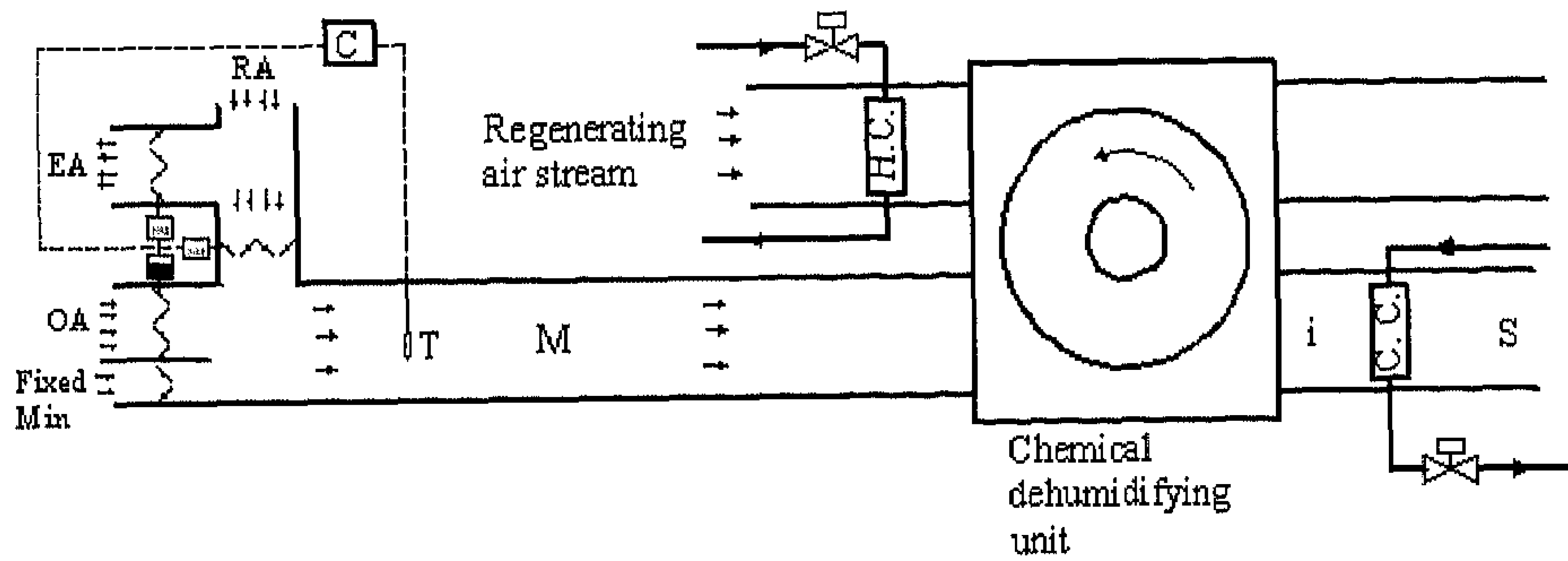


الشكل رقم (٣،٣٦). عملية التبريد مع إزالة رطوبة يتبعها إعادة تسخين.

(٣،٣،٥،٢) مزيل الرطوبة الكيميائي (Chemical dehumidification)

من الطرق أيضاً لإزالة الرطوبة مزيل الرطوبة الكيميائي. بهذه الطريقة يتم تركيب وحدة مزيل الرطوبة الكيميائي في مجرى الهواء. تحتوي هذه الوحدة على مادة قابلة لامتصاص بخار الماء مثل مادة جل السيلكا (silica gel). ولكن الاستمرار في امتصاص الرطوبة يجعل مادة جل السيلكا تصل إلى حالة التشبع. عند تعريض هذه المادة لهواء ساخن تحدث عملية عكسية أي أن المادة تطلق بخار الماء إلى الهواء الساخن.

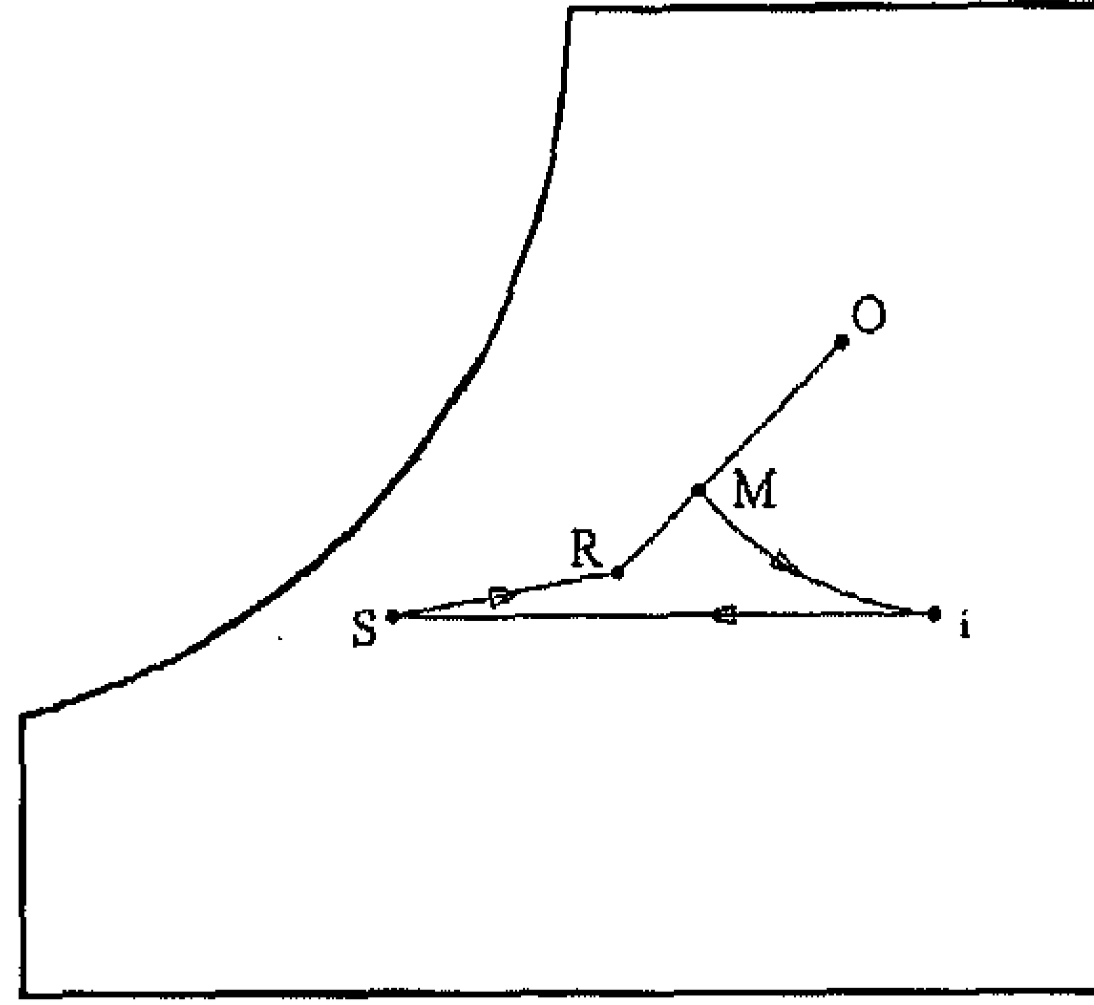
إذا لتبني هذه الطريقة لازالة الرطوبة من الهواء المكيف بشكل متواصل، توضع المادة القابلة لامتصاص بخار الماء في عجلة متحركة في وحدة مناولة الهواء بحيث تمتص الرطوبة من الهواء المكيف وبدوران العجلة تتعرّض هذه المادة من ناحية أخرى إلى هواء ساخن لإطلاق بخار الماء، وهكذا كما هو موضح في الشكل رقم (٣,٣٧).



الشكل رقم (٣،٣٧). إزالة الرطبة بالطريقة الكيميائية.

الشكل رقم (٣,٣٨) يمثل عملية إزالة الرطبة بالطريقة الكيميائية على الخريطة السيكرومترية. يُخلط الهواء الخارجي O والهواء الراجع R للحصول على النقطة M . بعد ذلك يدخل هواء الخلط إلى وحدة إزالة الرطوبة فتنخفض رطوبة الهواء ويحصل في

المقابل ارتفاع لدرجة حرارة الهواء المحسوسة ؛ لأن المادة الكيميائية تطلق حرارة أثناء عملية الامتصاص وبذلك يخرج الهواء من وحدة إزالة الرطوبة عند النقطة i. للحصول على نقطة التغذية المطلوبة يعمل ملف التبريد على خفض درجة حرارة هواء التغذية إلى النقطة S .



الشكل رقم (٣،٣٨). التمثيل السيكرومتري لعملية إزالة الرطبة بالطريقة الكيميائية.

(٣،٤) منظومات التكييف

Air-Conditioning Systems

تتألف منظومة التكييف المركزية من تشلرات Chiller's تعمل على تبريد الماء و شبكة توزيع للماء التي تنقل الماء من التشلرات إلى وحدات مناولة الهواء AHU's التي تعمل على تبريد الهواء في مناطق الفضاء المكيف.

(٣،٤،١) التحكم في نظام توزيع الماء

Control of water distribution system

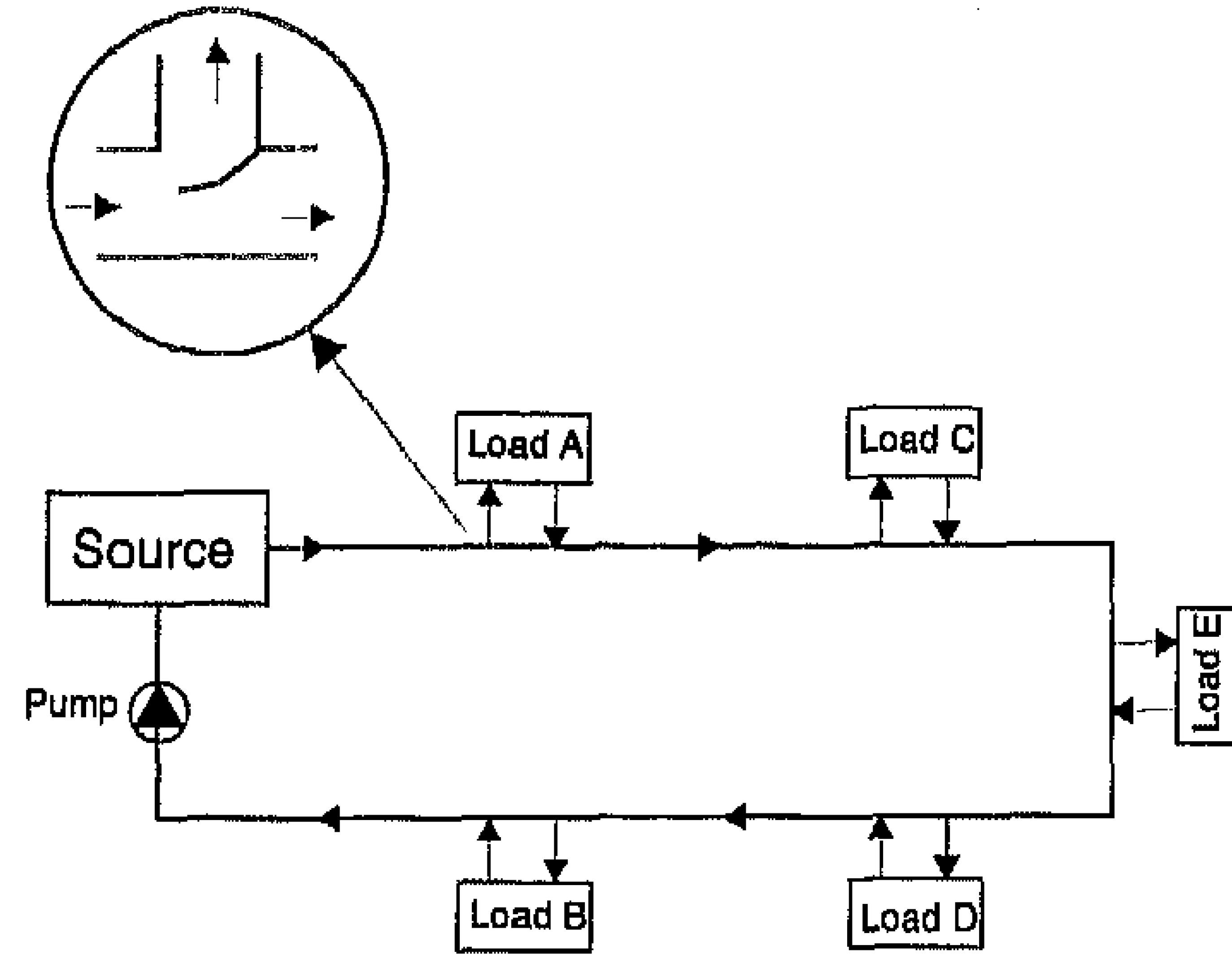
من أوائل الترتيبات المعمول بها في تصميم نظام توزيع الماء نظام الأنبوب الرئيس الواحد (One pipe Main) كما يوضح الشكل رقم (٣,٣٩). يتفرع ماء التغذية من الأنبوب الرئيس عند الوصول إلى كل وحدة مناولة هواء. ويعود الراجع منها إلى

الأنبوب الرئيسي قبل وصول ماء التغذية إلى وحدة مناولة الهواء التي تليها. لضمان تغذية وحدة مناولة الهواء من الأنبوب الرئيس عند كل تفرع ، يركب محول حرف تي كما يوضح الجزء المُكبر في الشكل رقم (٣,٣٩) وذلك لضمان خروج ماء التغذية من الأنبوب الرئيس إلى وحدة مناولة الهواء يتميز هذه النظام بانخفاض التكلفة البدائية ولكن يبقى عيبه الرئيسي في كون ماء التغذية يختلط بماء الراجع بعد كل حمل (وحدة مناولة هواء) فدرجة حرارة التغذية تزداد بعد كل وحدة مناولة هواء وهذا يجعل من الصعب تغطية متطلبات الأحمال الحرارية في وحدات مناولة الهواء المتأخرة (مثل Load B) خاصة في ظروف الحمل الكامل. هذه الطريقة لم تعد من الطرق المستخدمة بوجه عام.

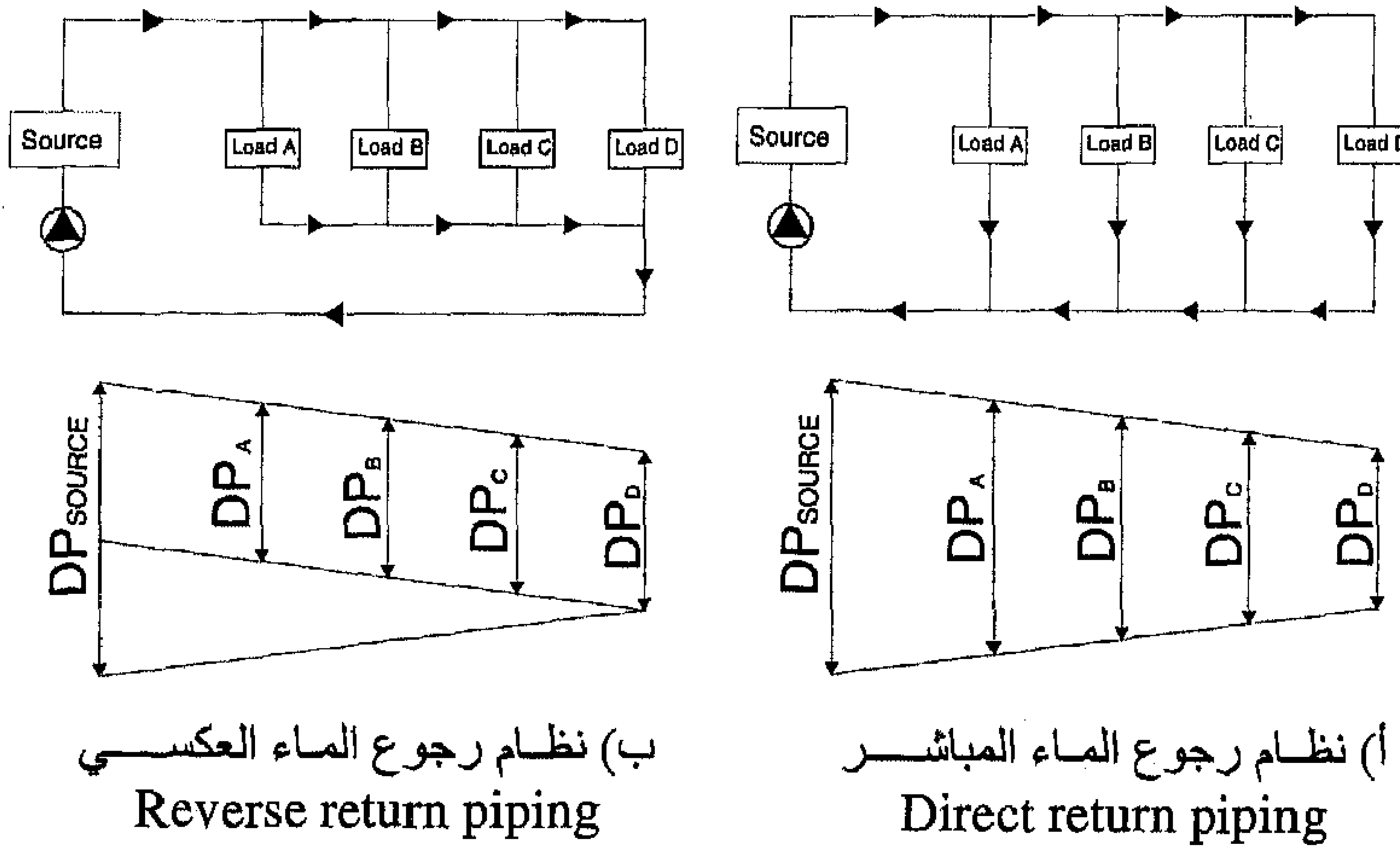
الأنظمة الأكثر شيوعاً في توزيع الماء نظام رجوع الماء المباشر ونظام رجوع الماء العكسي كما هو موضح في الشكل رقم (٣,٤٠). يتميز نظام رجوع الماء المباشر بانخفاض التكلفة الأولية نظراً لقلة الأنابيب المستخدمة مقارنة بالنظام الآخر. ولكن كما نلاحظ من مخطط الضغط فإن الفرق في الضغط بين دخول وخروج الماء في الملف (ΔP) يقل مع ابتعاد الملفات عن المصدر فيكون في الملف الأول (A في الشكل) أكبر منه في الثاني (B). ونتيجة لذلك يكون معدل السريان في الملف A أكبر من الملف B وهكذا. قد يتسبب تأثر معدل السريان بموقع الملف بأن يكون معدل السريان في الملفات البعيدة عن المصدر أقل من المطلوب للاستجابة لمتطلبات الحمل الحراري. لتقليل تأثير اختلاف الفرقات في الضغوط بين الأحمال تستخدم صمامات توازن (Balancing valves) تعمل على إضافة مقاومة إضافية لتقليل معدل السريان في الملفات القريبة للمصدر.

نظام الرجوع العكسي يتميز بعدم تأثر معدل السريان إلى الملفات ببعدها أو قربها من المصدر حيث يكون الفرق في الضغط بين الدخول والخروج ΔP لجميع الملفات

متساوي فلا يحتاج النظام إلى صمامات توازن، ولكن تكلفتها الأولية عالية نسبيا نظرا لتطلبها لأنابيب إضافية.



الشكل رقم (٣،٣٩). نظام الأنبوب الواحد الرئيسي لتوزيع الماء.

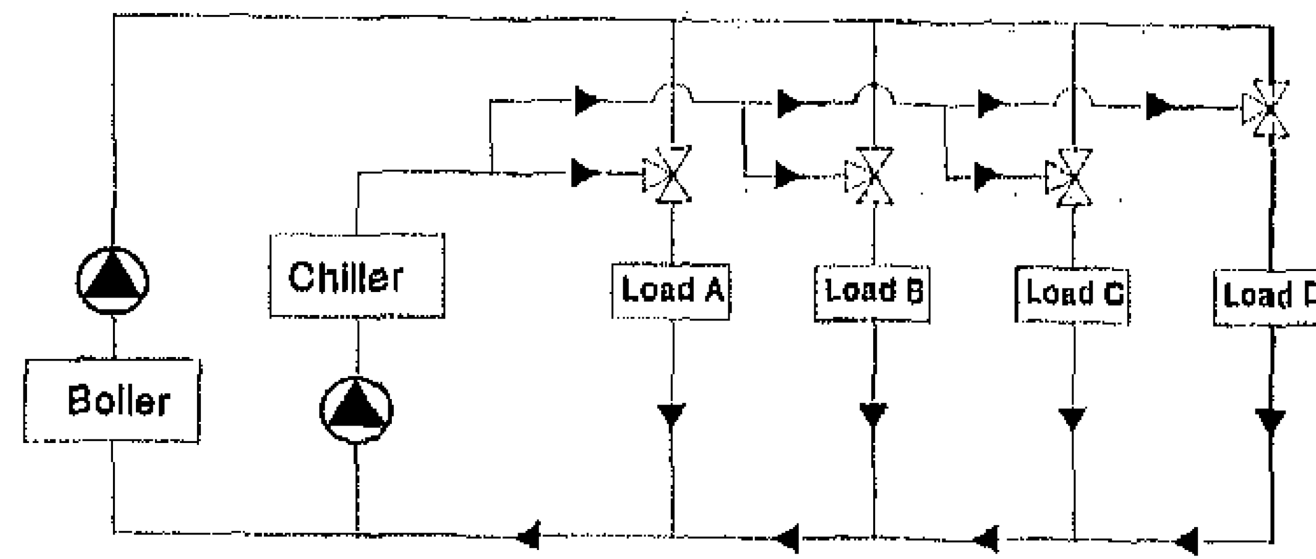


ب) نظام رجوع الماء العكسي
Reverse return piping

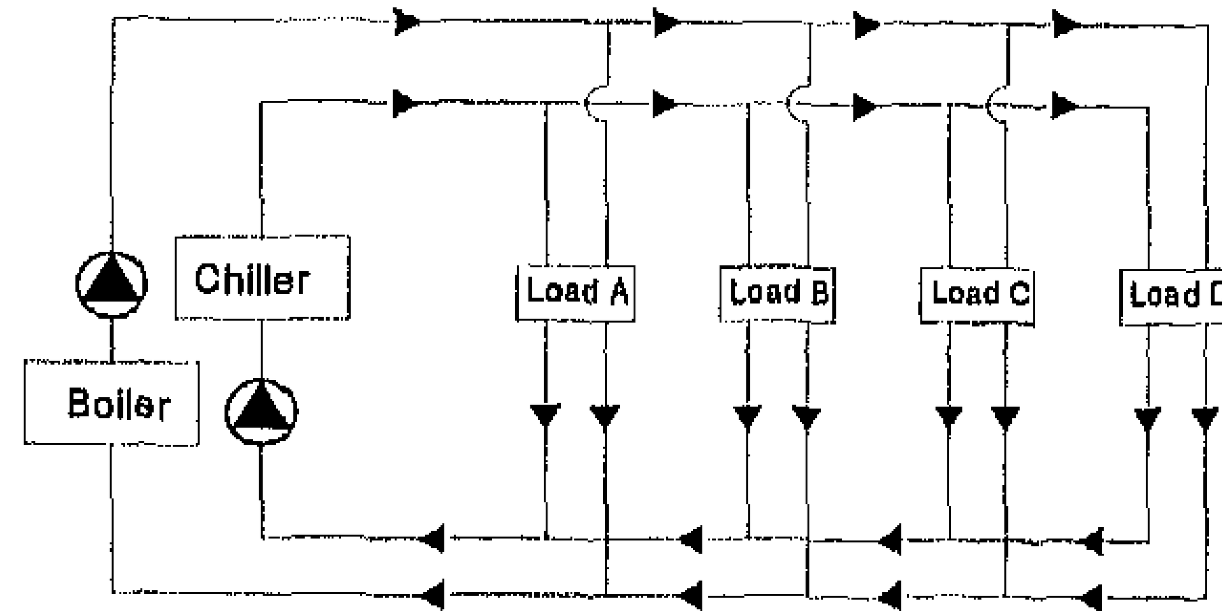
أ) نظام رجوع الماء المباشر
Direct return piping

الشكل رقم (٣،٤٠). الترتيبات الشائعة لتصميم توزيع الماء ومخطط الضغط لكل منها.

في نظام التكييف المركزي الذي يحتوي على تشلرات وغلايات ويعمل على مدار السنة يكون توزيع الماء من نوع الثلاثي الأنابيب (Three Pipe System) أو الرباعي الأنابيب (Four Pipe System) الموضح في الشكل رقم (٣,٤١).



(a) Three pipe system



(b) Four pipe system

الشكل رقم (٣،٤١). نظام الهواء الثلاثي والرباعي الأنابيب.

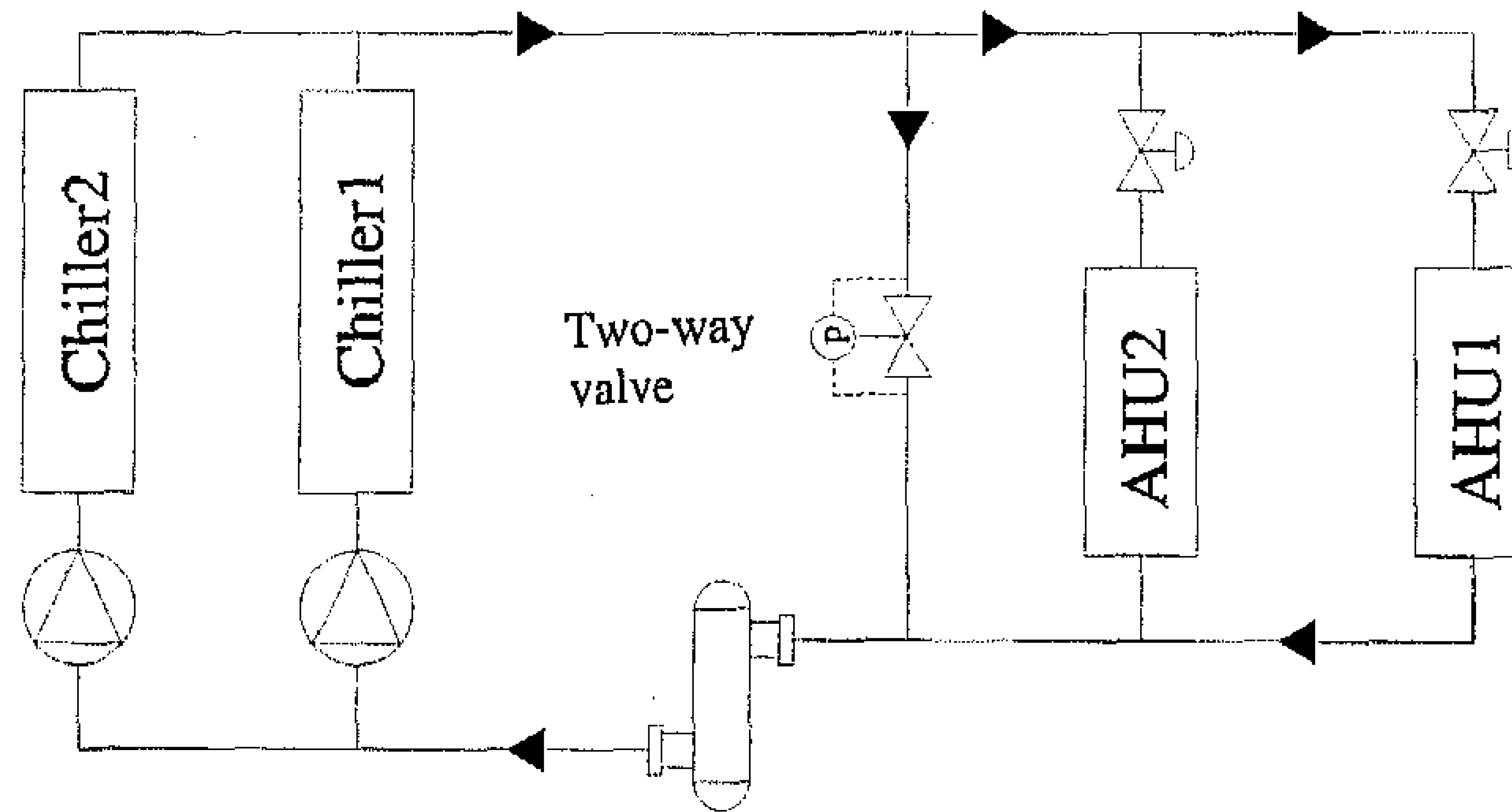
بينما يكون ماء التغذية مستقلاً في كلا النظامين يكون الخط الراجع مشتركاً للنظام الثلاثي ومستقلاً للنظام الرباعي فلا يحدث خلط للماء الدافئ مع الماء البارد في الخط الراجع في النظام الرباعي الأنابيب كما في النظام الثلاثي الأنابيب عند عمل الغلايات والتشلرات معاً في حالة أن تطلب بعض المناطق تدفئة والأخرى تبريد وبالتالي لا يحدث إهدار للطاقة. لا بد من التنبيه إلى أن مهمة الصمام الثنائي في النظام الثلاثي الأنابيب السماح للماء البارد فقط أو الماء الساخن فقط بالمرور خلال الحمل حسب ما تتطلبه عملية التكييف ولا يسمح بمرور كليهما معا بأي نسبة.

من أهم عناصر التحكم في توزيع الماء الصمامات وخزان التمدد. يمكن التحكم بمعدل سريان الماء خلال ملف التبريد للحصول على الاستجابة المناسبة لظروف الفضاء المكيف باستخدام:

- الصمام الثنائي.
- الصمام الثلاثي.

(٣،٤،١،١) التحكم بواسطة الصمام الثنائي

في شبكة الماء في التكييف المركزي لنقل الماء من التشلر (Chiller) إلى وحدة مناولة الهواء (AHU) والعكس يستخدم الصمام الثنائي للتحكم بمعدل السريان المار خلال وحدة مناولة الهواء بما يتناسب مع الحمل الحراري كما يوضح الشكل رقم (٣،٤٢).



الشكل رقم (٣،٤٢). التحكم بمعدل السريان بواسطة لصمام الثنائي.

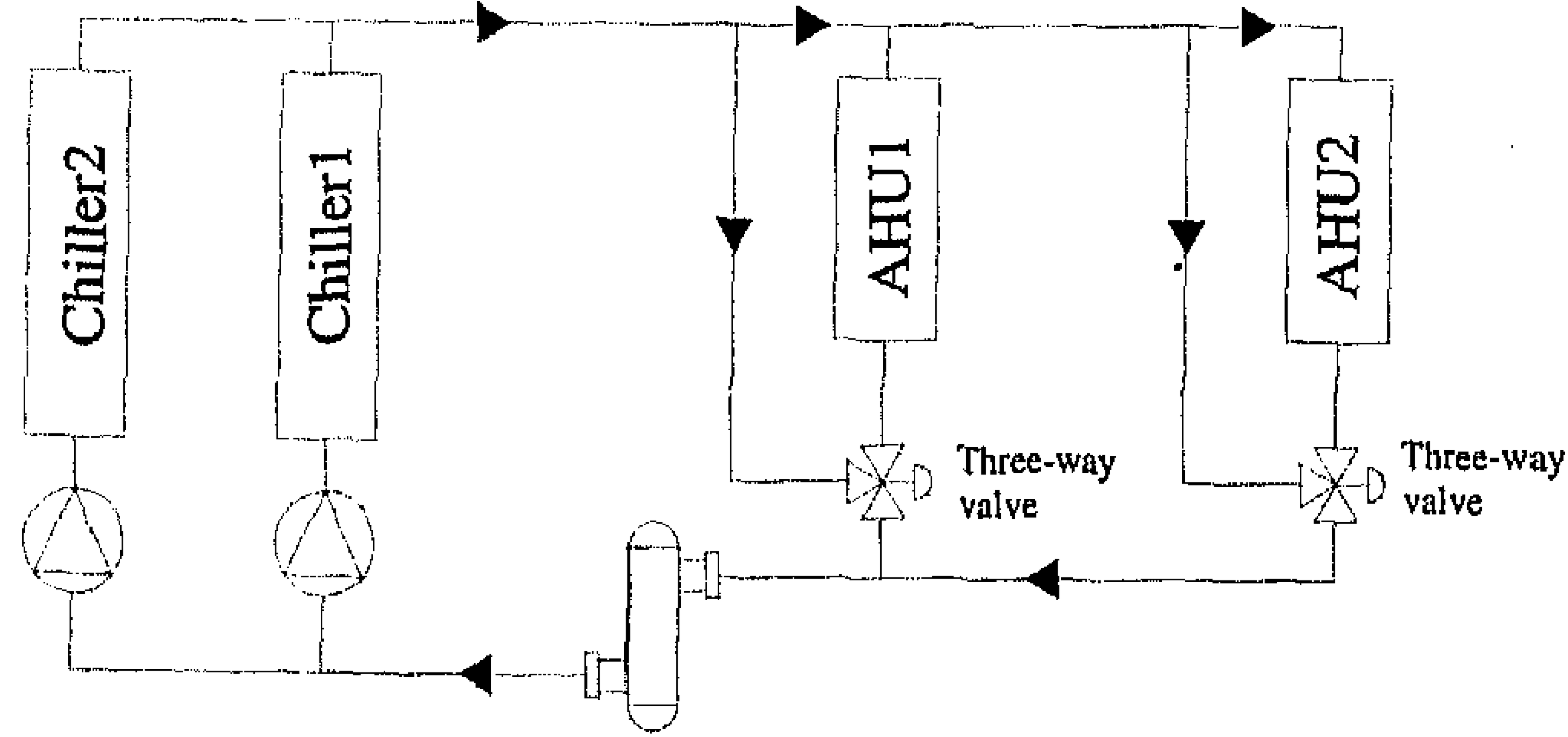
عند انخفاض الحمل الحراري في غرفة التكييف يرسل الحاس إشارة إلى حاكم درجة الحرارة. يعمل الحاكم على مقارنة الإشارة القادمة من الحاس مع قيمة الضبط وفي حالة وجود خطأ فرقي يرسل إشارة إلى الصمام الثنائي. عند ذلك يعمل الصمام

الثنائي على التحرك باتجاه الخنق فينخفض معدل السريان المار خلال الملف بما يتناسب مع الحمل الحراري. في حالة انخفاض الحمل الحراري في معظم المناطق المكيفة يصبح معدل السريان المار خلال ملفات التبريد في وحدات مناولة الهواء أقل مما يؤدي إلى زيادة الضغط في خط التغذية للماء. لإبقاء الضغط في خط التغذية عند قيمة محددة تزود شبكة الماء بخط جانبي يركب فيه صمام ثنائي. يتحكم بفتح الصمام الثنائي حاكم الضغط الفرقي. زيادة الضغط في خط التغذية تُحدث فرق في الضغط بين مخرج ومدخل الصمام الثنائي أكبر من قيمة التصميم. عند ذلك يعمل حاكم الضغط الفرقي على تحريك الصمام الثنائي باتجاه الفتح. وبذلك تعود كمية أكبر من الماء إلى التشلرات عبر الخط الجانبي بدون المرور على وحدة مناولة الهواء.

(٣،٤،١،٢) التحكم بواسطة الصمام الثلاثي

يعمل الصمام الثلاثي بالطريقة نفسها التي يعمل بها الصمام الثنائي. الشكل رقم (٣،٤٣) يوضح عملية التحكم حيث يتم ضخ الماء من التشلرات إلى وحدات مناولة الهواء. عند انخفاض الحمل الحراري في غرفة التكييف يرسل الحاس إشارة إلى الحاكم. يعمل الحاكم على مقارنة الإشارة القادمة مع الحاس مع قيمة الضبط، وفي حالة وجود خطا فرقي يرسل إشارة إلى الصمام الثلاثي فيعمل الصمام الثلاثي على غلق جزئي للفتحة القادمة من الملف فينخفض معدل السريان المار في الملف بما يتناسب مع الحمل الحراري وفي نفس الوقت تكبر الفتحة للسماح بالسريان في الخط الجانبي وبذلك يتم المحافظة على سريان ثابت خلال شبكة الماء على الرغم من تغير الحمل الحراري.

هنا نلاحظ أن الصمام الثلاثي الواحد يؤدي وظيفة صمامين من النوع الثنائي.



الشكل رقم (٣،٤٣). التحكم بمعدل السريان بواسطة الصمام الثلاثي.

(٣،٤،٢) طرق التحكم في منظومات التكييف

Control methods of Air-conditioning systems

تختلف طرق التحكم باختلاف طبيعة المنظومة. هناك عدة طرق للتحكم بظروف المكان المكيف مع تغير الحمل الحراري وتعتمد هذه الطرق على ما إذا كانت وحدة مناولة الهواء تخدم منطقة واحدة أو عدة مناطق وأيضاً فيما إذا كان حجم الهواء المكيف متغير مع تغير الحمل أو ثابت.

فيما يلي نستعرض أهم هذه الطرق:

(٣،٤،٢،١) التحكم في النظام الثابت الحجم الأحادي المنطقة

المنطقة في النظام أحادي المنطقة (Single-Zone) هي تلك التي لها نفس ظروف التصميم سواءً كانت منطقة واحدة أو مناطق منفصلة بجدران، ويقصد بنظام الحجم الثابت (constant volume) أن يكون حجم هواء التغذية للمنطقة ثابت على الرغم من تغير الحمل الحراري.

يمكن التحكم في نظام التكييف **الثابت الحجم** الذي يخدم منطقة واحدة بعدة طرق. كل هذه الطرق تعمل على التحكم بدرجة حرارة هواء التغذية (T_s) مع التغير في الحمل. فيما يلي نستعرض الطرق الأكثر شيوعاً ــ طريقة التحكم بمعدل سريان الماء وطريقة التحكم بإمرار جانبي للهواء الراجع.

أولاً: طريقة التحكم بمعدل سريان الماء

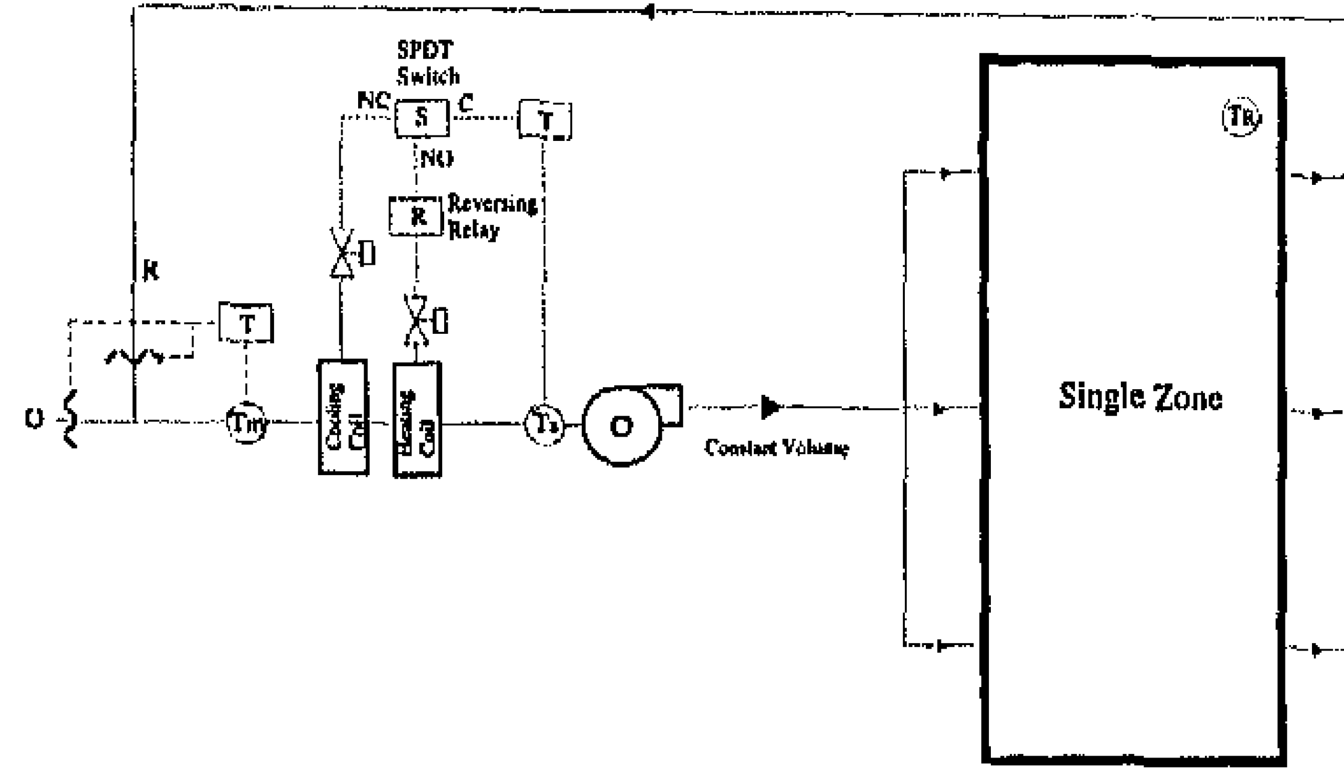
الشكل رقم (٣،٤٤أ) يوضح وحدة مناولة هواء مزودة بملف تبريد وملف تسخين تخدم منطقة واحدة ويكون حجم هواء التغذية ثابتاً بغض النظر عن تغير الحمل الحراري، يعمل ملف التبريد وملف التسخين كل على حده. في فصل الصيف يعمل ملف التبريد ويعمل ملف التسخين في فصل الشتاء، وتم التحكم بذلك عن طريق إشارة تصل من حاس درجة الحرارة الخارجية (T_o) إلى SPDT Switch ويتم مقارنتها بنقطة الضبط. في حالة أن درجة الحرارة الخارجية أعلى من نقطة الضبط يعمل SPDT Switch على السماح بإشارة الحاكم أن تصل إلى موُجّه ملف التبريد وحجبها عن ملف التسخين. وفي حالة انخفاض (T_o) تحت نقطة الضبط تتحول الإشارة لتشغيل ملف التسخين. يعمل حاكم درجة الحرارة بالشكل التالي: في حالة ارتفاع الحمل الحراري في الفضاء المكيف والذي يظهر بإرتفاع درجة حرارة الهواء الراجع (T_R) من المنطقة ترتفع درجة حرارة التغذية (T_s). عند ذلك يرسل حاكم درجة الحرارة إشارة إلى أداة التحكم (صمام الثنائي على سبيل المثال) لزيادة معدل الماء البارد خلال ملف التبريد. تؤدي زيادة ماء التبريد إلى زيادة السعة التبريدية للملف فتنخفض (T_s) فيتم تغطية الحمل الحراري الزائد. الحالة المعاكسة عندما ينخفض الحمل الحراري يعمل الحاكم بإيعاز من حاس درجة الحرارة في مجرى هواء التغذية على إرسال إشارة إلى أداة

التحكم لخفض سريان الماء البارد خلال الملف مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة التغذية ليتلاءم مع الحمل الحراري المنخفض. في المقابل في فصل الشتاء عند انخفاض درجة حرارة الهواء الراجع (T_R) من المنطقة ، مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة التغذية (T_s) ، يرسل حاكم درجة الحرارة إشارة إلى أداة التحكم وبفعل **المرحل العاكس** reversing relay يعمل الصمام على عكس إشارة الخرج مما يؤدي إلى زيادة معدل سريان الماء الساخن خلال ملف التسخين مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة التغذية وفي حالة ارتفاع(T_R) يعمل الحاكم على خفض معدل السريان.

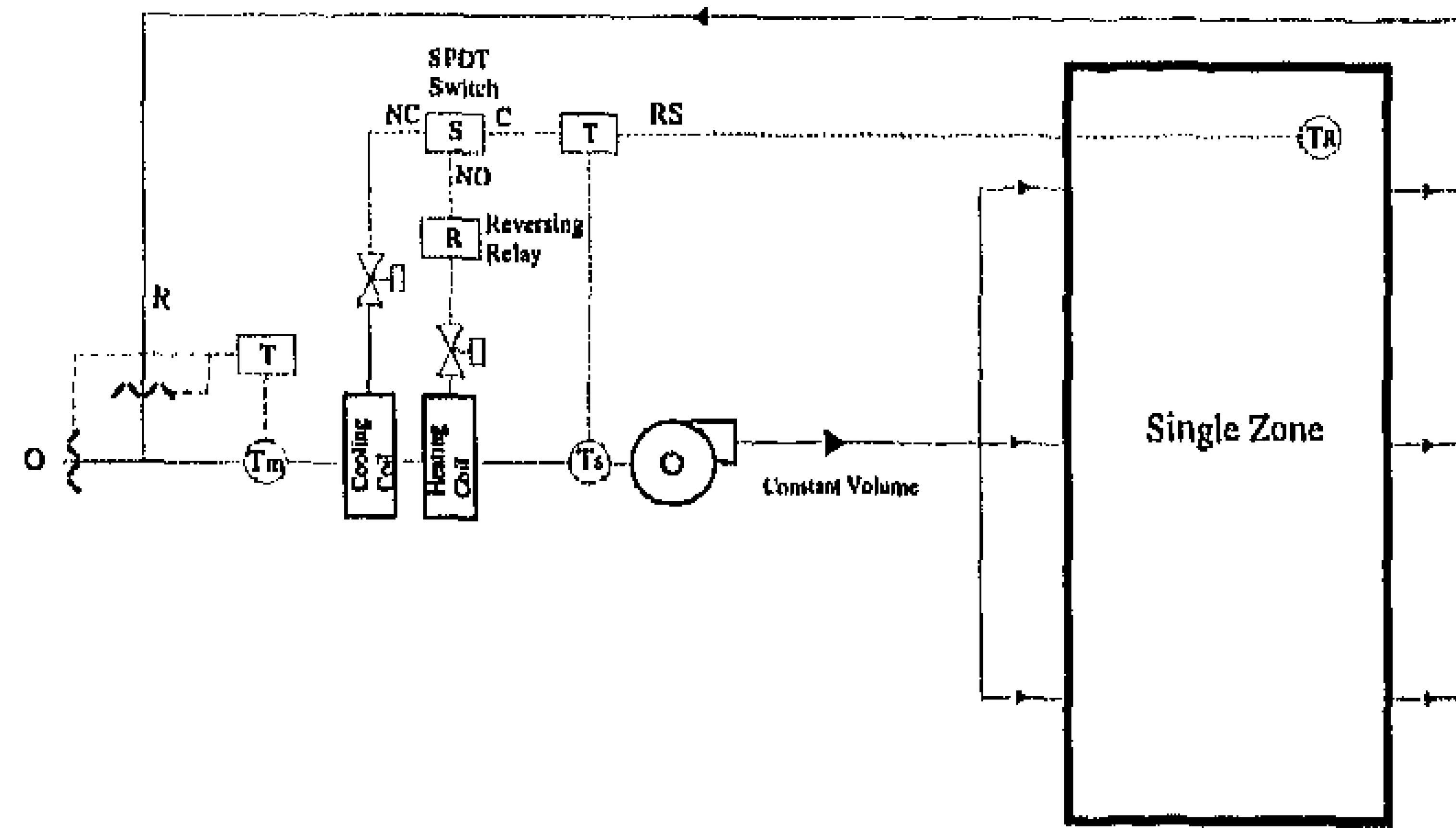
تجدر الإشارة إلى أنه يمكن استخدام ملف التسخين في فصل الصيف كملف إعادة تسخين في حالة التحكم في الرطوبة إذا وضع ملف التسخين بعد ملف التبريد في وحدة مناولة الهواء كما وضحنا سابقاً في موضوع (تبريد وإعادة تسخين)

لأن الحمل الحراري يظهر بارتفاع درجة حرارة الفضاء المكيف (T_R) ومن ثم ارتفاع (T_S)، فيكون هناك فترة تأخر حتى تحصل الاستجابة المناسبة خاصةً إذا كان الفضاء المكيف كبيراً. لتسريع عملية الاستجابة عند تغير الحمل كما يوضح الشكل رقم (٣,٤٤ب) تعمل درجة حرارة الهواء الراجع على إعادة ضبط الثيرموستات إلى درجة حرارة تغذية أعلى عند انخفاض درجة الحرارة في الحيز المبرد وضبطها إلى درجة حرارة أقل عند ارتفاع الحمل. يقوم الثيرموستات بمقارنة الإشارة القادمة من (T_s) مع نقطة الضبط الجديدة مما يؤدي إلى زيادة معدل السريان. بهذه الطريقة يتم التوفير في الطاقة وأيضاً تسريع استجابة الحاكم لإعادة ضبط أداة التحكم قبل ارتفاع درجة حرارة الفضاء المكيف بشكل غير مريح في فصل الصيف أو انخفاضها في فصل الشتاء. وفي كلتا الحالتين يتم استخدام الحد الأدنى من الطاقة. بالنسبة لخوانق الهواء يتم ضبطها

كما تم توضيحه سابقا في موضوع (التحكم بنسبة الهواء الخارجي) عن طريق الإبقاء على درجة حرارة الخلط عند الحد الأدنى.



(أ) التحكم بواسطة درجة حرارة هواء التغذية.



(ب) التحكم بواسطة درجة حرارة هواء الراجع و التغذية معاً.

الشكل رقم (٣،٤٤). عملية التحكم في النظام الثابت الحجم الأحادي المنطقة عن طريق التحكم بمعدل سريان الماء.

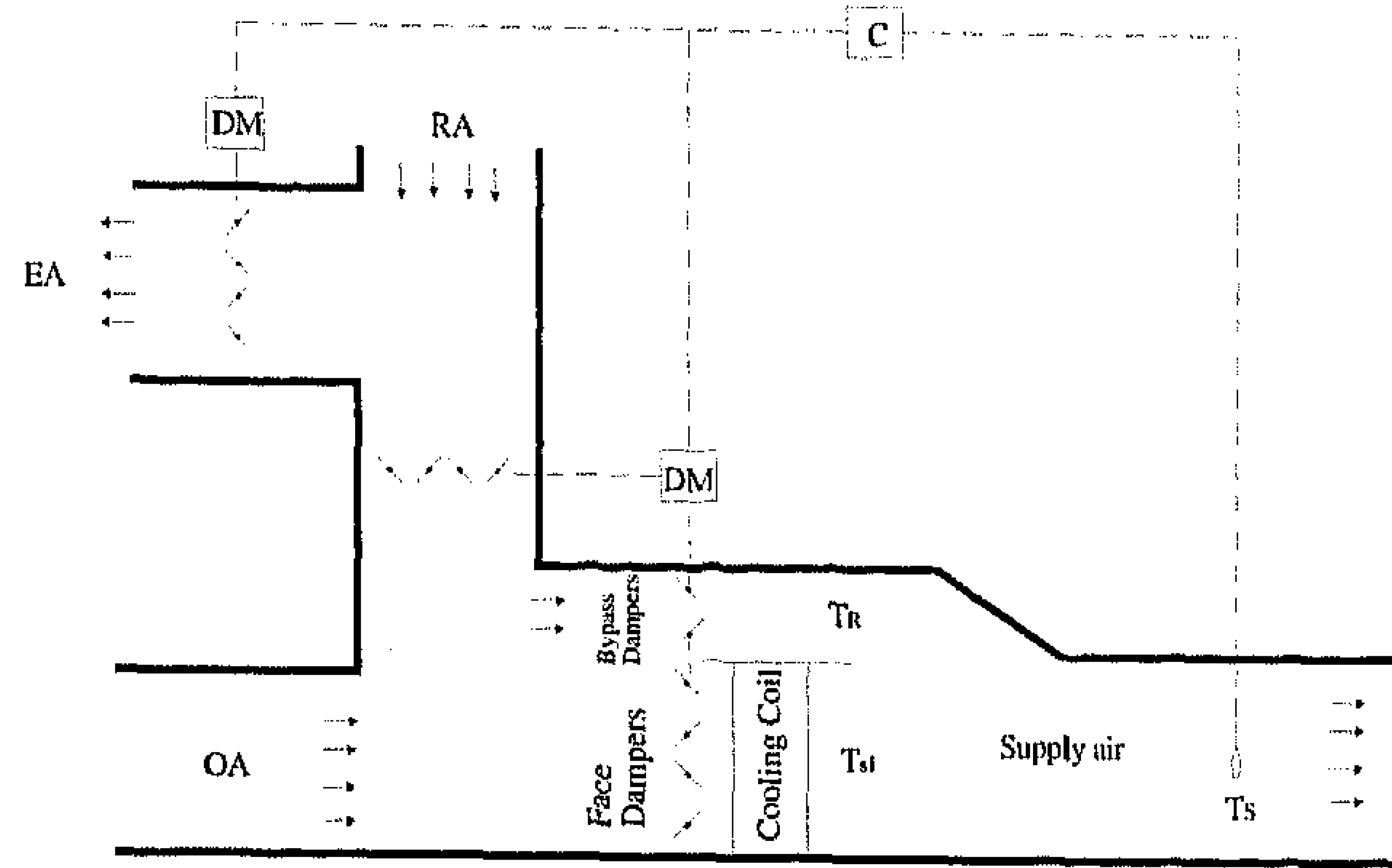
ثانياً: طريقة التحكم بإمرار جانبي للهواء الراجع

هذه الطريقة تعد من الطرق الأكثر شيوعاً في صناعة التكييف. عند تغير الحمل يتم إمرار جزء من الهواء الراجع (return air) في ممر جانبي (bypass) بحيث لا يتأثر بملف التبريد. بعد ذلك يتم خلط الهواء من الممر الجانبي مع الهواء المار خلال الملف.

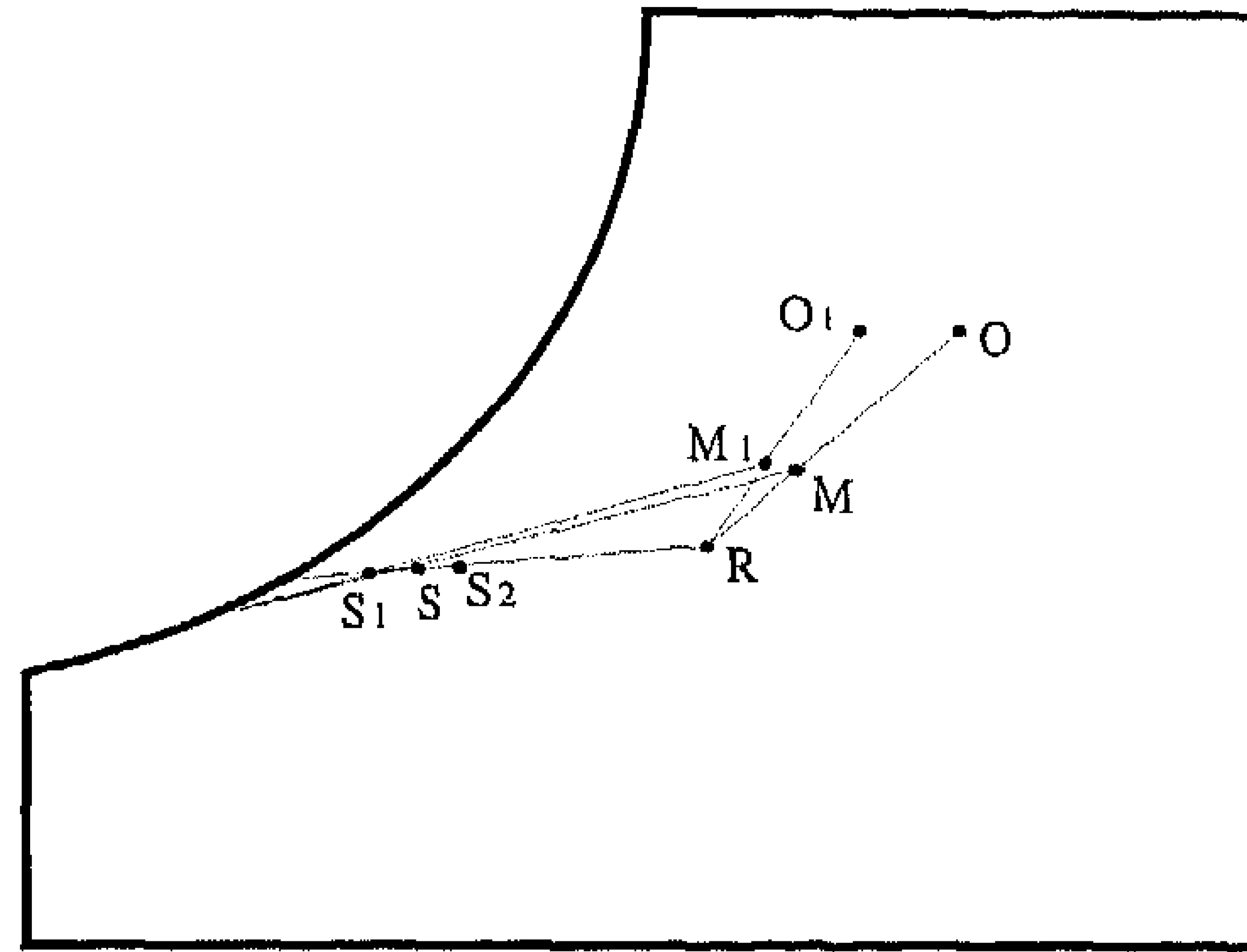
الجدير بالذكر أن وحدة مناولة الهواء تُصمم بحيث يكون الممر الجانبي أقرب إلى مجرى الهواء الراجع منه إلى مجرى الهواء الخارجي، كما يوضح الشكل رقم (٣,٤٥) لضمان أن يكون الهواء العابر خلال الممر الجانبي من الهواء الراجع فقط؛ لأن امرار الهواء الخارجي يرفع مستوى رطوبة الغرفة إذا كان الهواء الخارجي رطباً و يتطلب أيضاً سعة تبريدية أكبر للحصول على نقطة تغذية ملائمة.

نسبة الجزء المار خلال المرر الجانبي إلى تلك خلال الملف تحددها خوانق الممر الجانبي (bypass dampers) والخوانق الوجهية (Face dampers) استجابةً للتغير في درجة حرارة التغذية.

ينخفض الحمل الحراري إما بانخفاض درجة حرارة الهواء الخارجي وإما بزيادة حرارته الكامنة وإما بزيادة حمل الحرارة الكامنة داخل الغرفة. في جميع الحالات يتغير خط الحمل الحراري للملف (R-S) . الشكل رقم (٣,٤٦) يوضح تمثيل العملية على الخريطة السيكرومترية عند ظروف التصميم وعند انخفاض الحمل. عند ظروف التصميم، جميع الهواء الراجع (R) والهواء الخارجي (O) يمر خلال الملف فيعطي نقطة التغذية (S) .في حالة انخفاض الحمل الحراري وانخفاض درجة حرارة التغذية(T_s)، يرسل الحاس إشارة إلى الحاكم الذي يقارن (T_s) بنقطة الضبط فيرسل إشارة إلى أداة التحكم فتفتح الخوانق الجانبية للسماح بجزء من الهواء الراجع للعبور خلالها. الجزء الآخر من هواء التغذية المار خلال الملف يُعطي النقطة (S_1)، التي تكون أقل من نقطة التصميم. بعد ذلك يتم خلط الهواء المار خلال الممر الجانبي مع الهواء المار خلال الملف وينتج من ذلك انتقال نقطة هواء التغذية من S_1 إلى S_2 . نقطة التغذية الجديدة تكون ملائمة مع التغير الذي طرأ على الحمل الحراري.



الشكل رقم (٣،٤٥). التحكم في النظام الثابت الحجم الأحادي المنطقة عن طريق إمرار جانبي للهواء الراجع.



الشكل رقم (٣،٤٦). التمثيل السيكرومتري للتحكم في النظام الثابت الحجم الأحادي المنطقة عن طريق إمرار جانبي للهواء الراجع.

تتميز هذه الطريقة بأن عملية الخلط تحرك نقطة الخروج من الملف على نفس خط معامل الحرارة المحسوسة للغرفة (Room sensible heat factor).

هذه الطريقة في التحكم يمكن أن تُستخدم في نظام التبريد الأحادي المنطقة، وكذلك المتعدد المناطق.

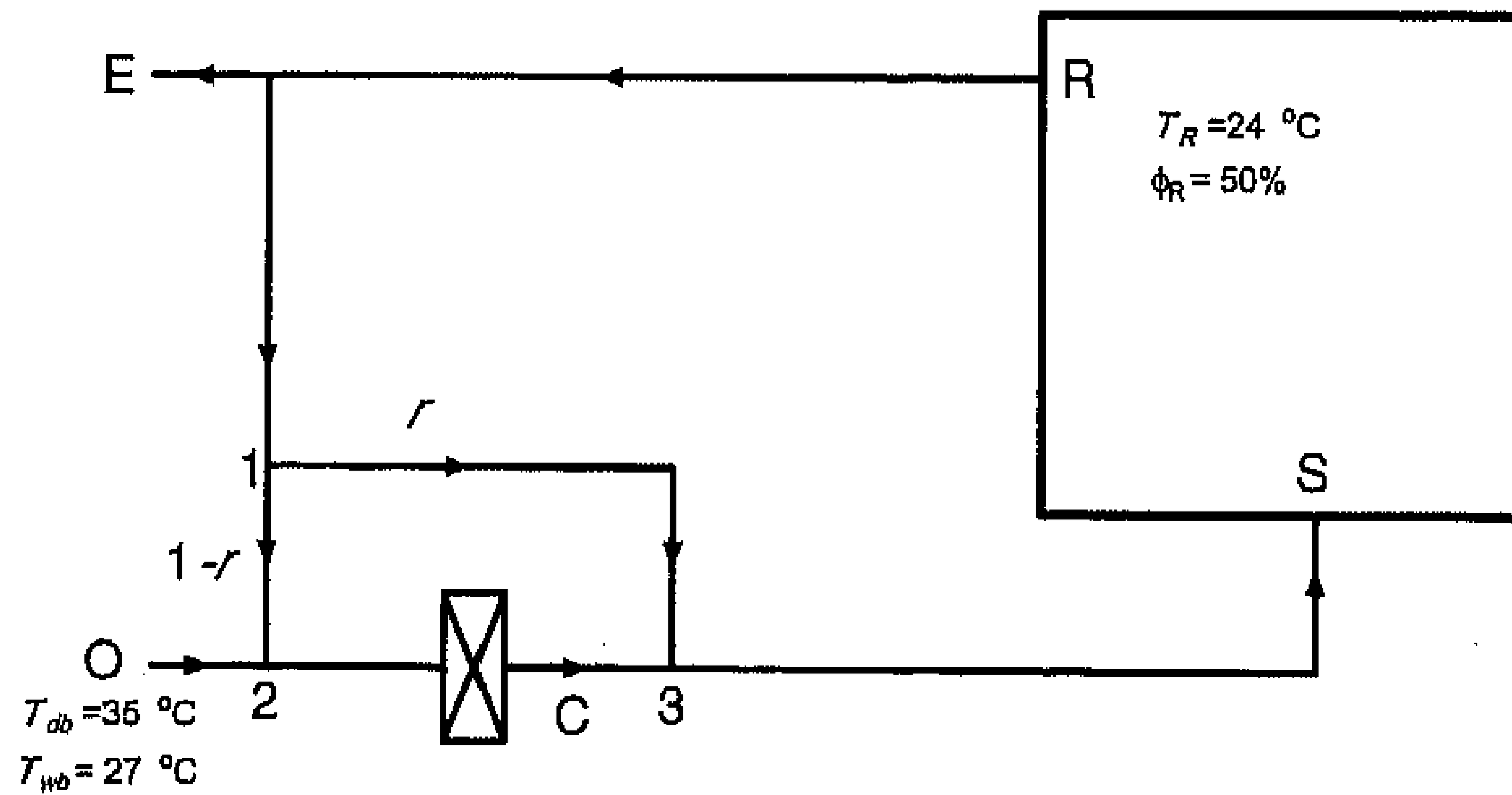
مثال (٣،١): النظام الثابت الحجم الأحادي المنطقة المزود بمجرى جانبي للهواء.

منطقة يقدر حملها المحسوس بـ 5.5 kW وظروف الهواء الخارجية والداخلية كما هو موضح في الشكل رقم (٣،٤٧). أوجد نسبة هواء الإمرار الجانبي إلى هواء التغذية إذا كان يراد أن تكون درجة حرارة هواء التغذية 15 °C ونسبة الهواء الخارجي إلى التغذية ٢٥٪.

الحل:

نسبة الهواء الخارجي 25% فتكون نسبة الهواء الراجع 75% من هواء التغذية.

إذا اعتبرنا أن r نسبة هواء الإمرار الجانبي إلى الهواء الراجع، يكون معدل سريان هواء الإمرار الجانبي $0.75 * r * \dot{m}_s$ ومعدل سريان الهواء الراجع المار خلال ملف التبريد $0.75 * (1 - r) * \dot{m}_s$



الشكل رقم (٣،٤٧). النظام الثابت الحجم الأحادي المنطقة عن طريق إمرار جانبي للهواء الراجع التابع لمثال (٣،١).

بتطبق قانون الخلط عند النقطة 2 يكون معدل سريان الهواء المار الكلي خلال الملف :

$$0.75*(1-r)*\dot{m}_s + 0.25*\dot{m}_s$$

حيث إن الهواء الخارجي يمثل 25% من هواء التغذية

بتطبق قانون الاتزان الحراري عند النقطة 3 نحصل على المعادلة التالية :

$$(0.75(1-r)\dot{m}_s + 0.25\dot{m}_s)C_{Pa}T_C + 0.75r*\dot{m}_s C_{Pa}T_R = \dot{m}_s C_{Pa}T_S$$

في تطبيقات التكييف يمكن اعتبار الحرارة النوعية للهواء C_{Pa} ثابتة ، فيمكن حل المعادلة السابقة لـ r لنحصل على

$$r = \frac{T_S - T_C}{0.75(T_C - T_R)}$$

نلاحظ أن نسبة هواء الإمرار r لا تعتمد على معدل سريان هواء التغذية $\dot{m}_s$ ولكن على ظروف الهواء في الحيز المكيف ودرجة حرارة الملف ودرجة حرارة التغذية.

بالتعويض في المعادلة السابقة يمكن الحصول على

$$r = \frac{15-10}{0.75(10-24)} = 0.47$$

إذا نسبة هواء الإمرار الجانبي إلى الهواء الراجع تساوي ٤٧٪.

(٢،٢،٤،٣) نظام التحكم الثابت الحجم المتعدد المناطق

في هذا النظام تخدم وحدة مناولة الهواء أكثر من منطقة (Multiple-Zone). لكل منطقة ظروف تكييف مختلفة. هواء التغذية يتم نقله من وحدة مناولة الهواء وتوزيعه على المناطق المختلفة ويكون بحجم ثابت (constant-volume).

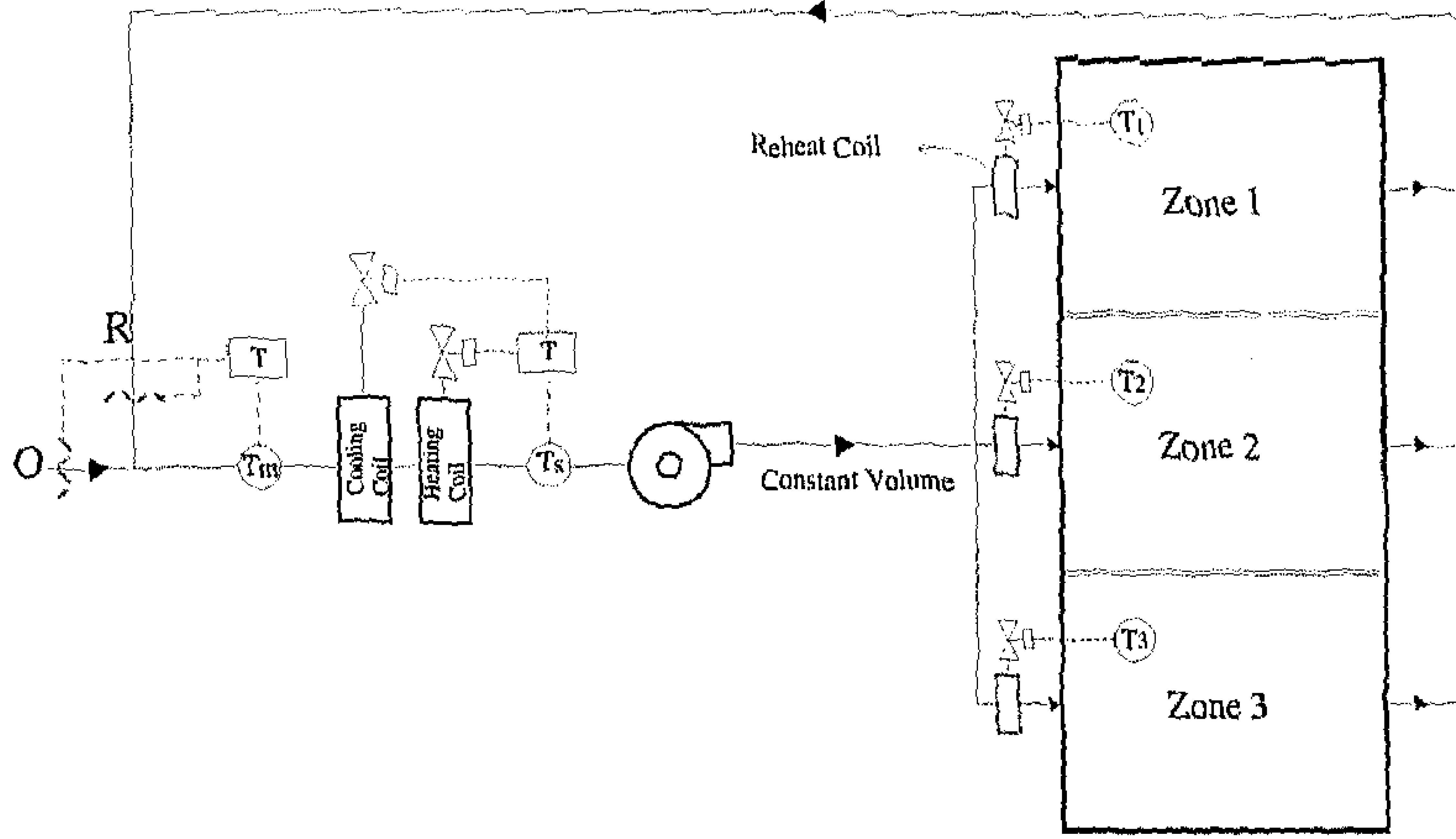
تكون مهمة حاكم درجة الحرارة في وحدة مناولة الهواء الإبقاء على درجة حرارة التغذية عند قيمة محددة تلبي حاجة المناطق عند الحمل الكامل وتزوّد كل منطقة بحاكم درجة حرارة للتحكم بظروف المنطقة على حده.

الطرق المستخدمة في التحكم بظروف التكييف تشتمل على التحكم عن طريق ملف إعادة التسخين والتحكم بواسطة الوحدة الطرفية الحثية، والوحدة الطرفية الحثية المزودة بملف.

أولاً: التحكم عن طريق ملف إعادة التسخين

الشكل رقم (٣,٤٨) يوضح نظام التحكم الثابت الحجم المتعدد المناطق. يتم معالجة الهواء في وحدة مناولة الهواء ويمرر عبر مجرى رئيس إلى المناطق المختلفة بمعدل سريان ثابت. تستقبل المناطق هواء التغذية بدرجة حرارة متساوية تم تحديدها من قبل حاكم درجة الحرارة الرئيس في وحدة مناولة الهواء. يتم الإبقاء على ظروف التكييف في كل منطقة عن طريق حاكم درجة الحرارة للمنطقة حيث يتحكم بدرجة حرارة التغذية للمنطقة وفقاً للتغير في الحمل بالمنطقة. على سبيل المثال إذا كانت درجة حرارة التغذية للهواء القادم من وحدة مناولة الهواء المناسبة لتغطية الحمل الحراري الكامل في المنطقة (13 °C) فإنه في حالة انخفاض الحمل الحراري في المنطقة 1 (Zone 1) بشكل جزئي يعمل حاكم درجة الحرارة في تلك المنطقة على تشغيل ملف إعادة التسخين (Reheat Coil) عند مدخل الهواء للمنطقة لرفع درجة حرارته بما يلائم التغير في الحمل الحراري. وتبقى درجة حرارة التغذية للمنطقة الثانية والثالثة كما هي إذا لم يتغير الحمل الحراري. وهكذا يكون لكل منطقة درجة حرارة مختلفة تتغير تبعاً للتغير في الحمل داخل المنطقة.

هذا النوع من التحكم يُستخدم عادة في منشئات التكييف الصغيرة و تتم عملية إعادة التسخين بواسطة سخان كهربائي أو عن طريق ملف تسخين يُغذى بواسطة غلايات في حالة أن منشأة التكييف كبيرة. إستخدام ملف التسخين يسمح بتحكم أكبر من خلال التحكم بكمية الماء الساخن خلال الملف.



الشكل رقم (٣،٤٨). التحكم عن طريق ملف إعادة التسخين.

من عيوب نظام التحكم عن طريق ملف إعادة التسخين الطاقة الإضافية التي تستهلكها الملفات لذلك لم تعد هذه الطريقة الاختيار الأمثل في تصميم أنظمة التكييف الحديثة.

ثانياً: التحكم عن طريق الوحدة الطرفية الحثية

من الطرق المستخدمة أيضاً في نظام التحكم الثابت الحجم المتعدد المناطق استخدام الوحدة الطرفية الحثية (Induction Terminal Unit) في كل منطقة. هذه الوحدة تقوم مقام ملف إعادة التسخين حيث إنه في حالة انخفاض الحمل يتم إدخال هواء راجع من الغرفة ويخلط مع الهواء القادم من وحدة مناولة الهواء المركزية لرفع درجة حرارة التغذية للمنطقة مباشرة قبل دخوله للمنطقة. يسمى الهواء القادم من وحدة مناولة الهواء بالهواء الأساسي (primary air) ويسمى الهواء المار بفعل الحث الهواء الثانوي (secondary air).

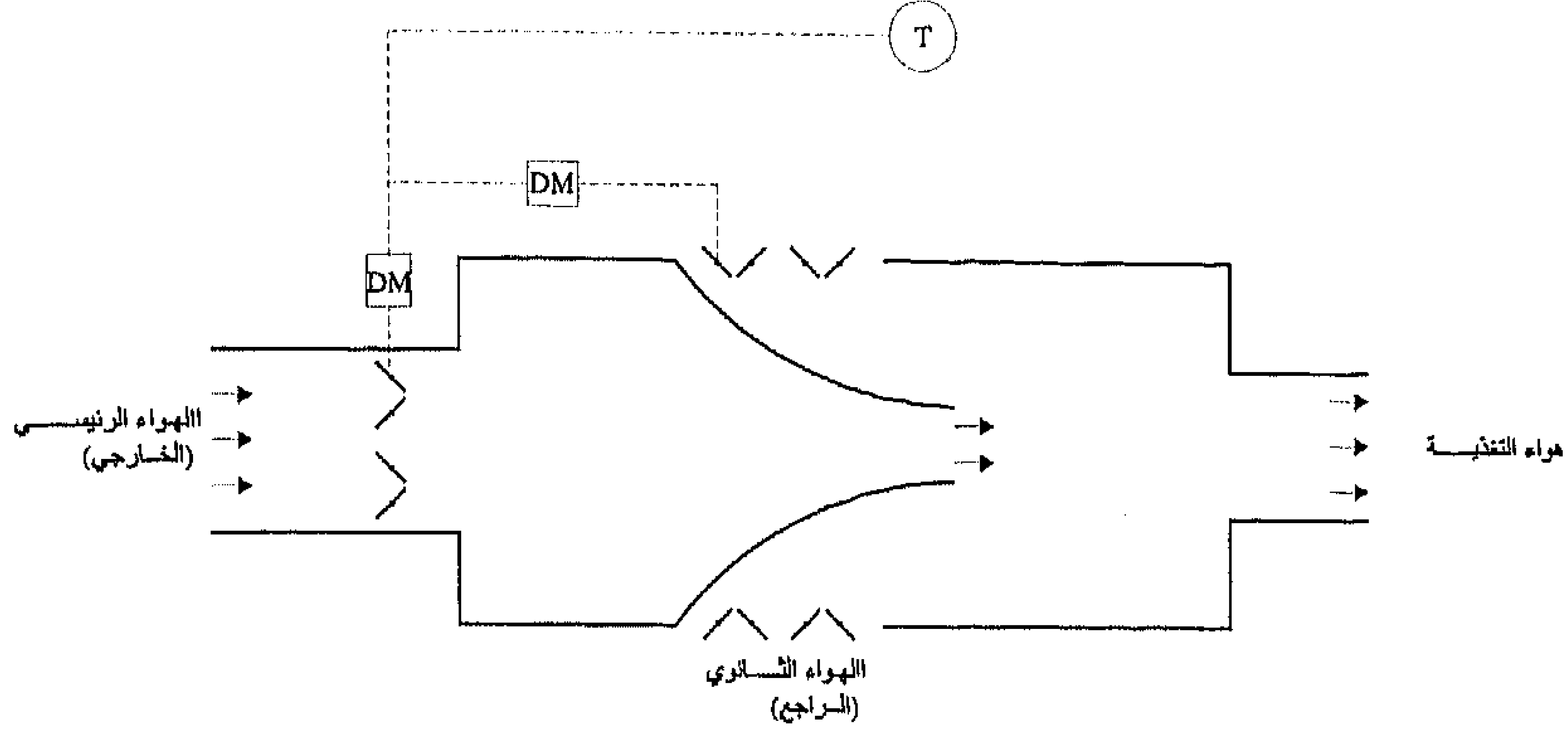
تزود وحدة مناولة الهواء بوحدة خلط يتم فيها خلط الهواء الراجع من مختلف المناطق والهواء الخارجي وبعد ذلك يمرر الخليط خلال ملف التبريد للحصول على درجة التغذية المناسبة قبل إرساله إلى المناطق المختلفة كما هي الحال في وحدة مناولة الهواء التقليدية ويتم إدخال الهواء الثانوي حسب الحاجة عند انخفاض الحمل الحراري في الوحدة الحثية لكل وحدة على حدة. في هذه الحالة يكون نظام التكييف مزوداً بمجرى هواء راجع بالإضافة إلى مجرى هواء التغذية .

الطريقة الأكثر استخداماً لهذا النوع من أنظمة التكييف هي تخصيص وحدة مناولة الهواء للهواء الخارجي فقط، فتعمل الوحدة الطرفية في كل منطقة على خلط الهواء الخارجي القادم من وحدة مناولة الهواء مع الهواء الراجع من المنطقة نفسها. من أكبر مميزات هذا النظام ضمان عدم انتقال الهواء الراجع بين المناطق فيحصل استقلالية لكل منطقة وهذا يجعله مثالي للمنشئات التي تحتاج إلى عزل للمناطق مثل غرف العمليات وغرف المرضى في المستشفى.

يتم التحكم بكمية الهواء الراجع الداخل إلى الوحدة الطرفية عن طريق التحكم بسرعة سريان الهواء القادم من وحدة مناولة الهواء داخل الوحدة عن طريق إمراره في فوهة (orifice) كما يوضح الشكل رقم (٣،٤٩)؛ لأنه من المعلوم أن زيادة سرعة الهواء يقابلها خفض للضغط الإستاتيكي داخل الوحدة، فيكون الضغط في المنطقة أكبر من الضغط داخل الوحدة الطرفية ما يؤدي إلى دخول هواء المنطقة إلى الوحدة الحثية ويكون ذلك بمعدلات تتناسب مع سرعة الهواء الأساسي.

تصمم مجاري الهواء عادة بطريقة الهواء العالي السرعة (High velocity air method) حتى يحدث انخفاض في الضغط داخل الوحدة بشكل يجعل الهواء الراجع يدخل إلى الوحدة الحثية بكمية ملائمة للتحكم بالحمل.

تمثيل عملية التحكم على الخريطة السيكرومترية يشبه النظام الذي يستخدم الخوانق الجانبية الموضحة في الشكل رقم (٣,٤٦).



الشكل رقم (٣،٤٩). التحكم بواسطة الوحدة الطرفية الحثية.

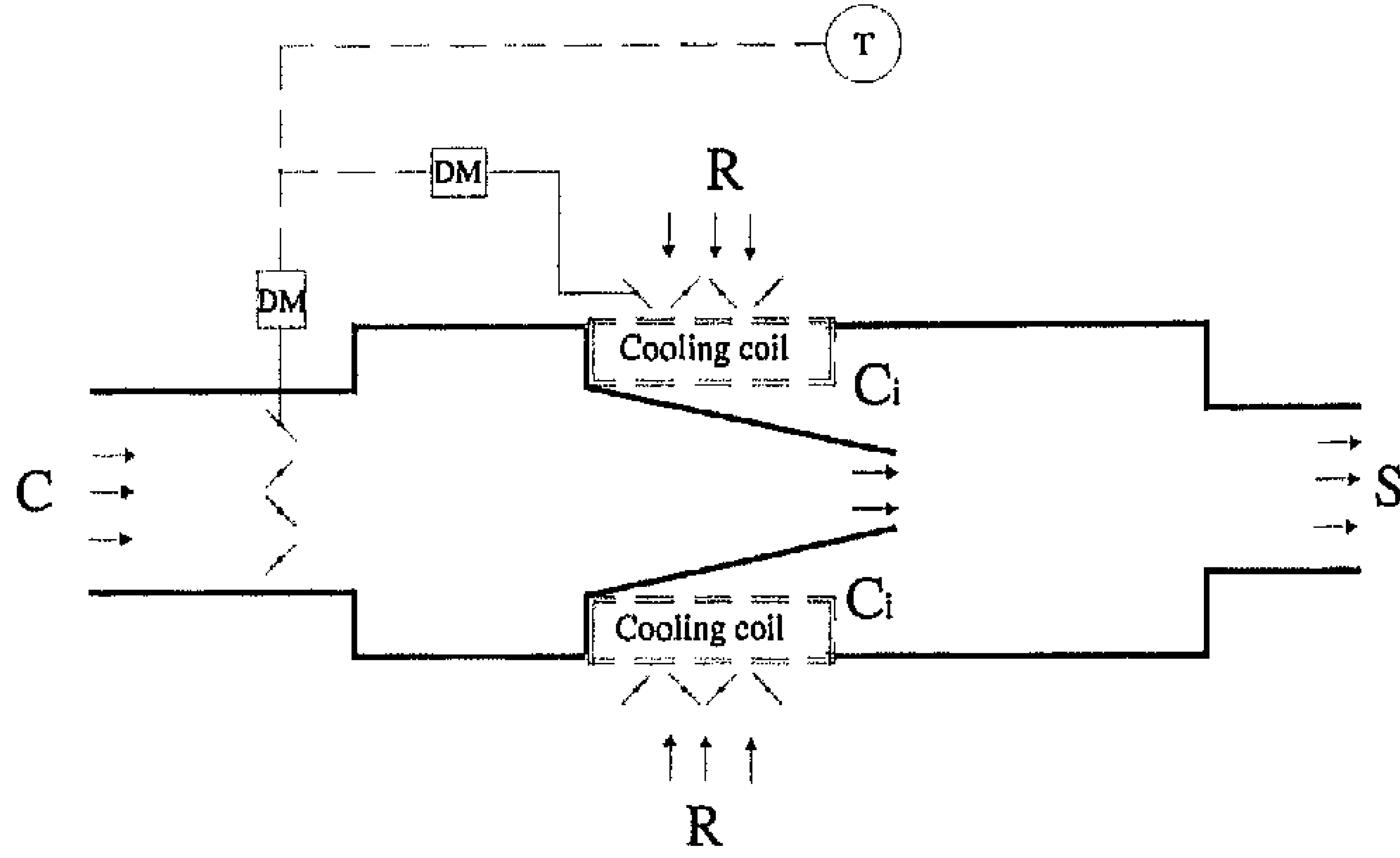
ثالثاً: التحكم عن طريق الوحدة الطرفية الحثية المزودة بملف

تشبة طريقة الوحدة الطرفية الحثية المزودة بملف (Coil Induction Unit) طريقة الوحدة الطرفية الحثية إلا أن الوحدة تكون مزودة بملف تبريد كما يوضح الشكل رقم (٣,٥٠). التمثيل السيكرومتري لهذه العملية موضح في الشكل رقم (٣,٥١). يتم في وحدة مناولة الهواء إمرار الهواء الخارجي (O) خلال ملف التبريد ليخرج عند النقطة (C). في الوحدة الطرفية يتم تبريد الهواء الراجع (R) الى النقطة (C_1) ثم يتم خلط الهواء الأساسي من وحدة مناولة الهواء مع الهواء الثانوي من منطقة التكييف وتكون نتيجة الخليط نقطة التغذية (S) .

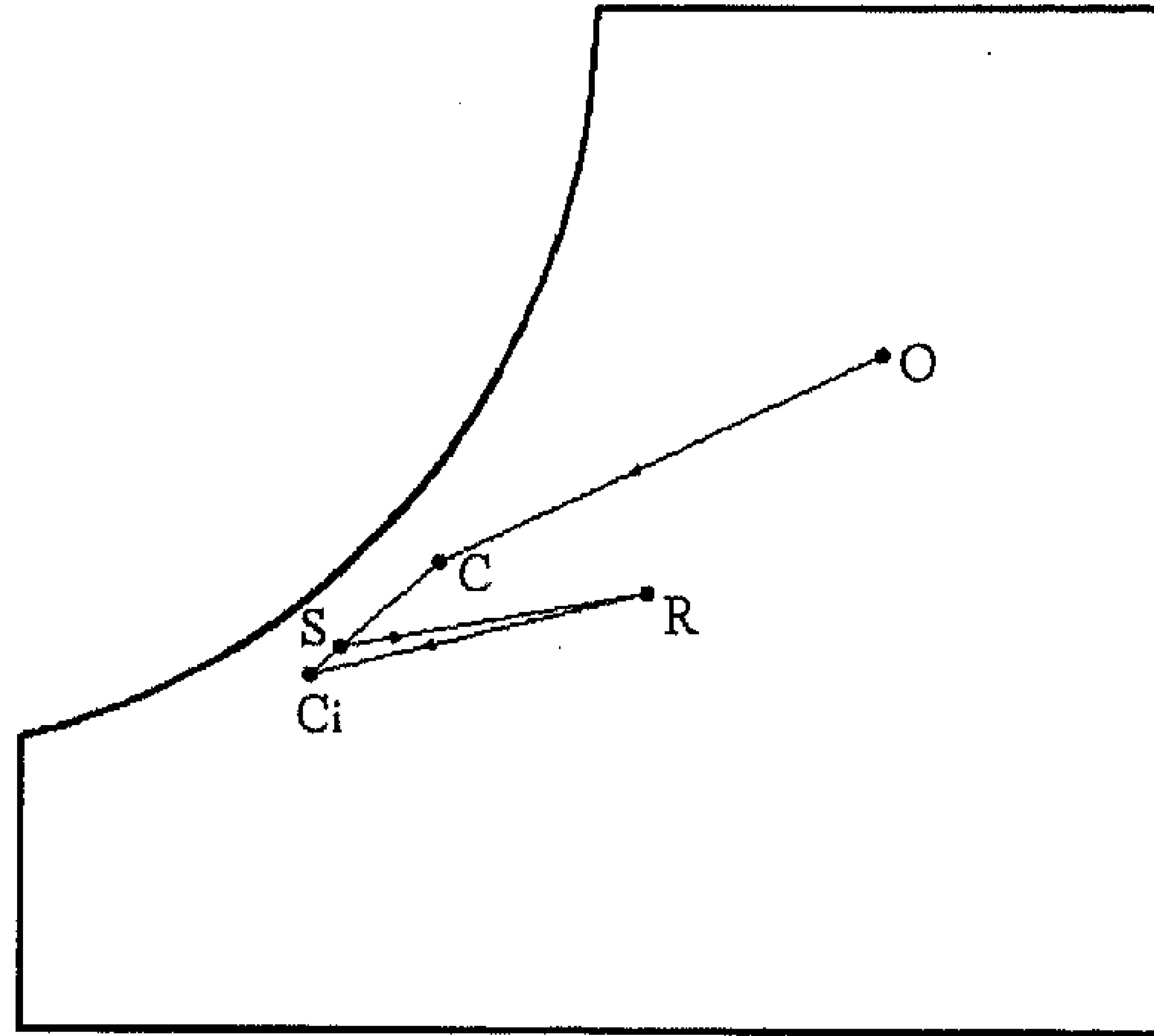
إضافة الملف إلى الوحدة الطرفية يضيف مدى أكبر لعملية التحكم مع التغير في الحمل داخل منطقة التكييف حيث يمكن عن طريق التحكم بالخوانق في الوحدة الطرفية التحكم بمعدل الهواء الأساس والثانوي إضافة إلى التحكم بمعدل سريان الماء

خلال الملف. يمكن أيضاً إضافة مروحة للوحدة الطرفية للتحكم بسريان الهواء الثانوي فيكون مستقلاً عن سريان الهواء الأساس.

تكون عادة نسبة الهواء الخارجي إلى الهواء الراجع 4:1



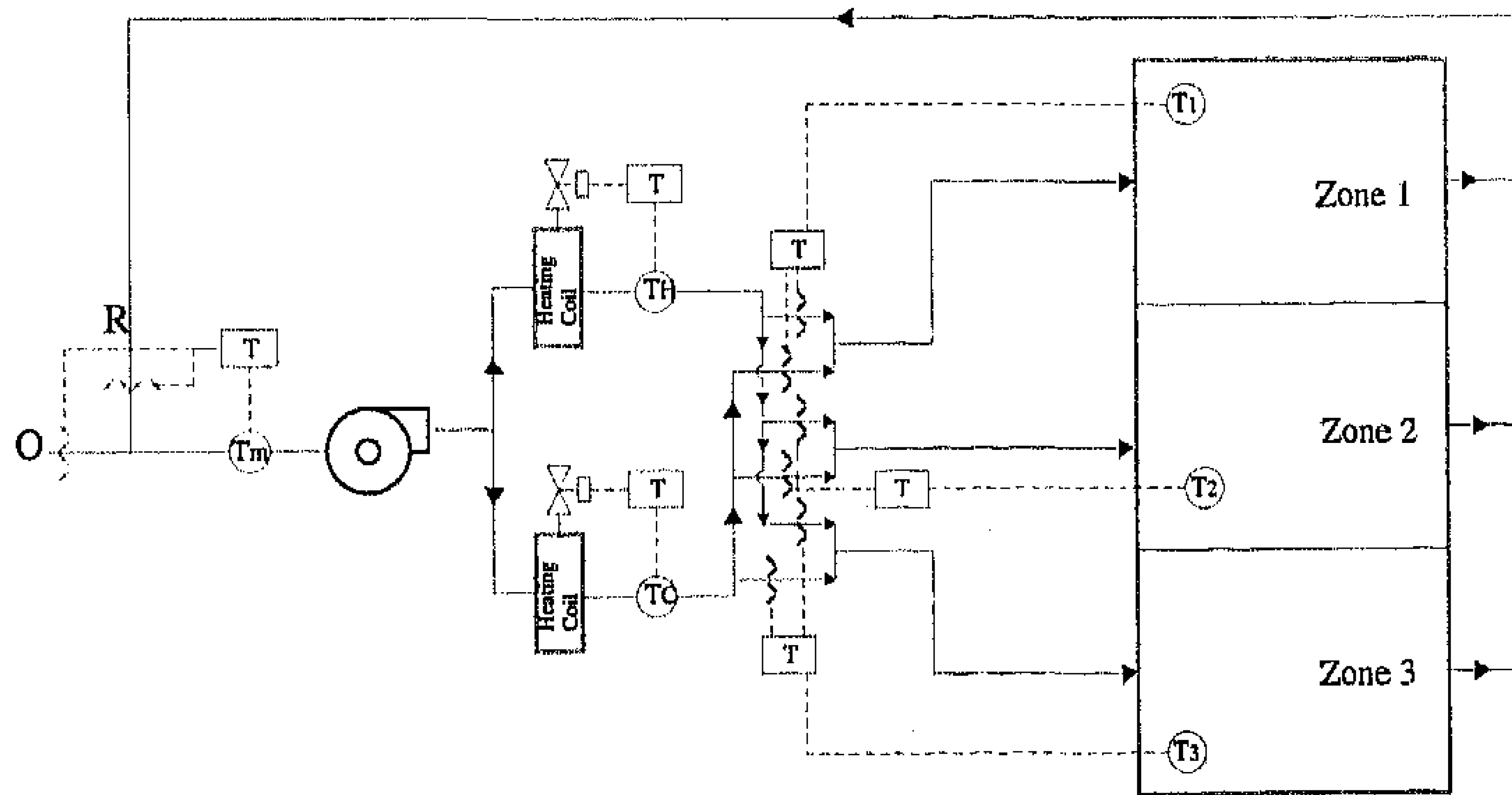
الشكل رقم (٣،٥٠). التحكم بواسطة الوحدة الطرفية الحثية المزودة بملف.



الشكل رقم (٣،٥١). التمثيل السيكرومتري لعملية التحكم بواسطة الوحدة الطرفية الحثية المزودة بملف.

(٣،٢،٤،٣) نظام التحكم ثنائي مجاري الهواء و نظام تحكم المناطق التعددية

وحدة مناولة الهواء في نظام التحكم ثنائي مجاري الهواء (Dual duct control system)، كما يوضح الشكل رقم (٣,٥٢)، تتألف من ملف تبريد وملف تسخين موصلين على التوازي. ينقسم هواء التغذية خلال سريانه في وحدة مناولة الهواء إلى قسمين قسم يمر خلال ملف التبريد والقسم الآخر يمر خلال ملف التسخين. يكون التحكم على أساس إبقاء درجة حرارة الهواء بعد ملف التبريد (T_C) عند قيمة محدده وإبقاء درجة حرارة الهواء بعد ملف التسخين (T_H) عند قيمة محددة. بعد ذلك يتم نقل الهواء الساخن والهواء البارد كل منهم في مجرى هواء مستقل إلى المناطق. بعد ذلك يتم توزيع الهواء على صناديق خلط تكون بجوار كل منطقة بحيث يكون عدد صناديق الخلط بعدد المناطق. في كل وحدة خلط يتم خلط الهواء الساخن مع الهواء البارد على حسب درجة حرارة التغذية المطلوبة لكل منطقة. في حالة ارتفاع الحمل الحراري في المنطقة يعمل حاكم درجة الحرارة على إغلاق جزئي لخانق الهواء الساخن وفتح جزئي لخانق الهواء البارد وذلك للحصول على نقطة التغذية المناسبة وفي حالة انخفاض الحمل الحراري تكون العملية عكسية، فيعمل الحاكم على فتح خانق الهواء الساخن بشكل أكبر ويغلق جزئياً خانق الهواء البارد.



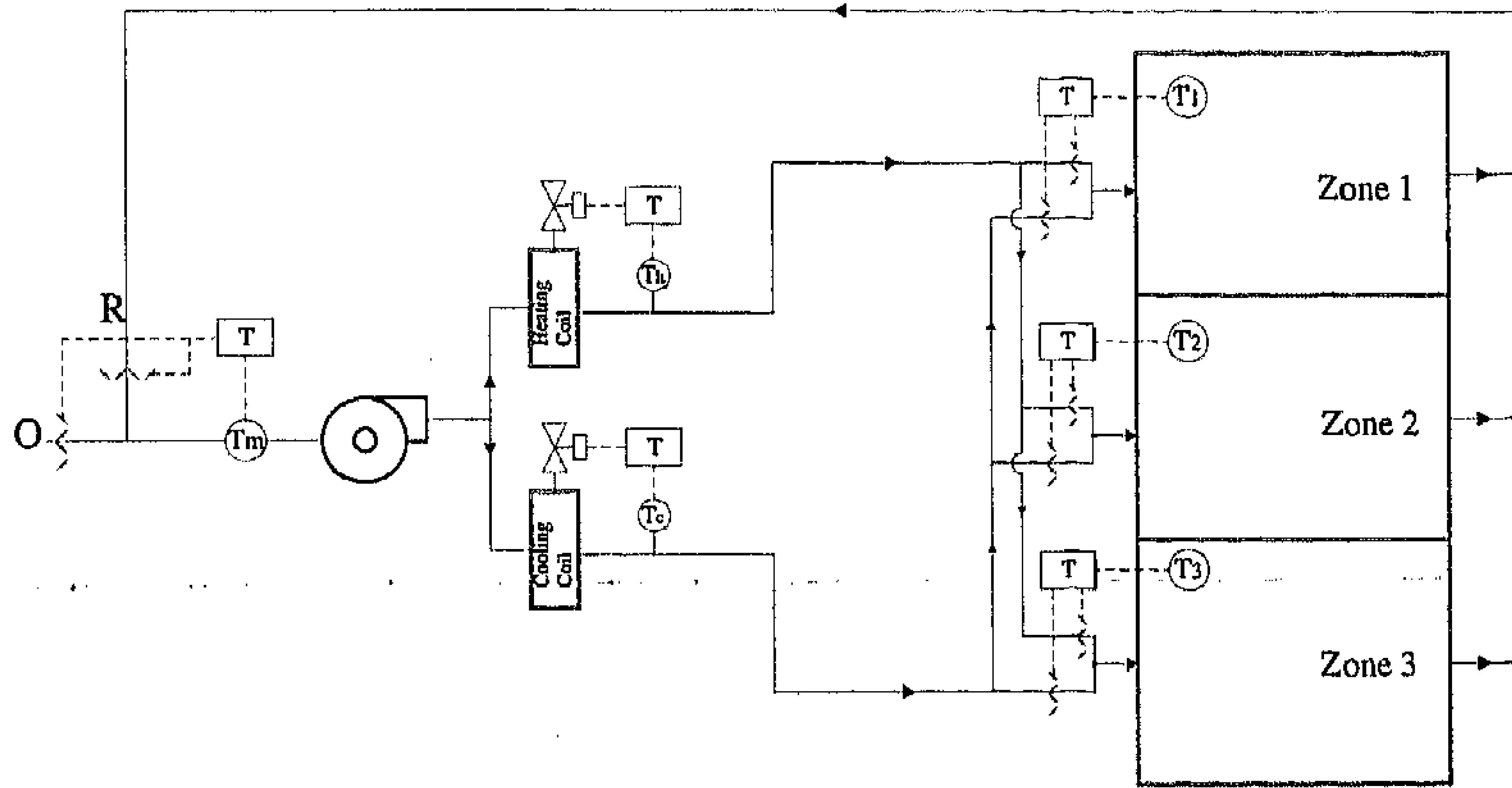
الشكل رقم (٣،٥٢). نظام التحكم ثنائي مجاري الهواء.

التحكم في درجة حرارة كل منطقة في هذا النظام يتم عن طريق حاكم درجة الحرارة لكل منطقة. يتحكم حاكم درجة الحرارة في صندوق الخلط الموجود قرب المنطقة التي يخدمها في وحدة مناولة الهواء المركزية. يتم تبريد جزء من الهواء وتسخين الجزء الآخر ثم إرسال كل منهما إلى المناطق المكيفة عبر مجاري مستقلة.

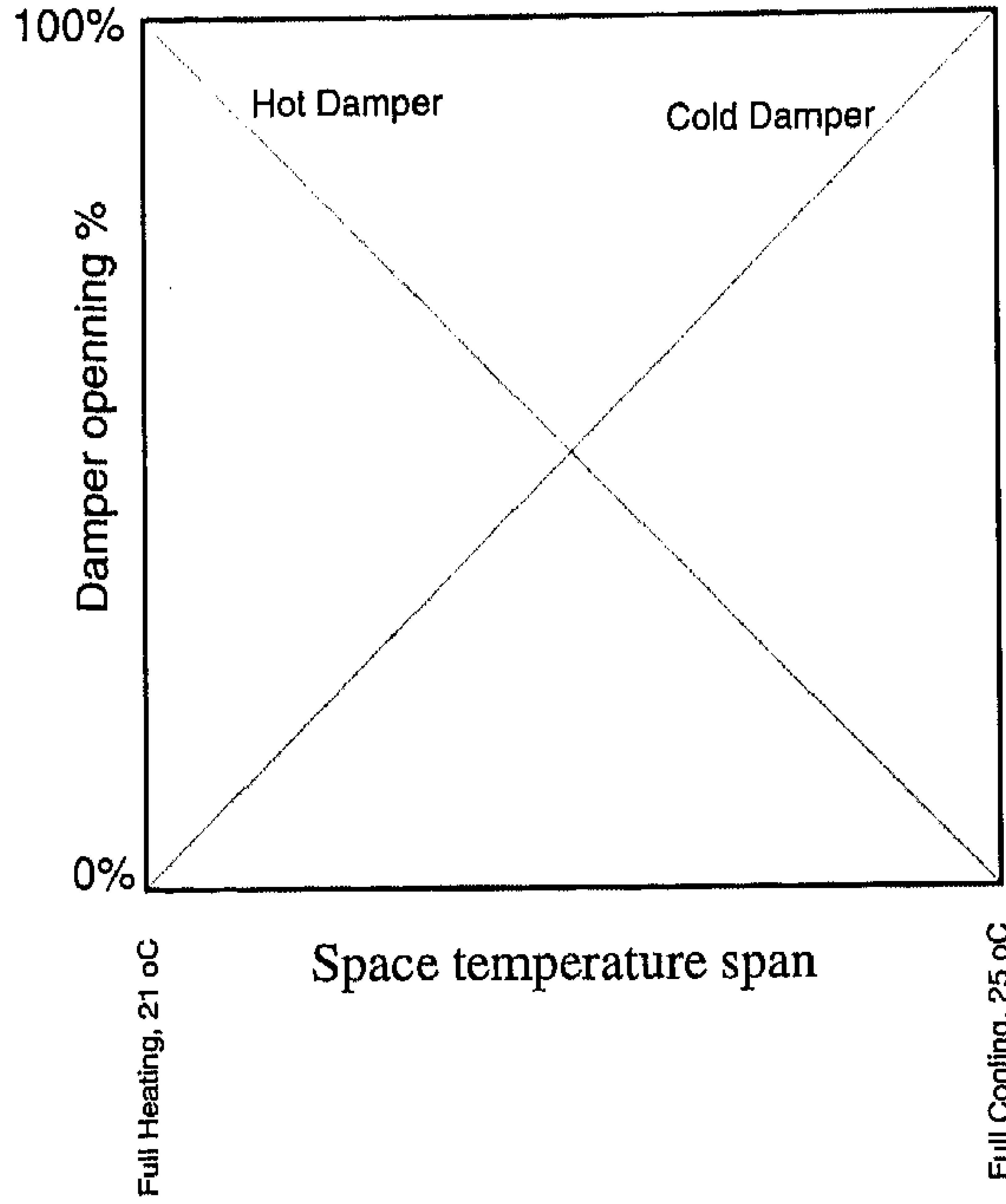
وحدة مناولة الهواء التعددية (Multizone control system)، كما يوضح الشكل رقم (٣،٥٣)، تتألف من ملف تبريد وملف تسخين موصلين على التوازي وكذلك وحدات خلط. ينقسم هواء التغذية خلال سريانه في وحدة مناولة الهواء إلى قسمين قسم يمر خلال ملف التبريد والقسم الآخر يمر خلال ملف التسخين. يكون التحكم على أساس إبقاء درجة حرارة الهواء بعد ملف التبريد (T_C) عند قيمة محدده وإبقاء درجة حرارة الهواء بعد ملف التسخين (T_H) عند قيمة محددة. بعد ذلك يتم توزيع الهواء على وحدات خلط موجودة في وحدة مناولة الهواء. لكل منطقة وحدة خلط مستقلة وبذلك يكون عدد وحدات الخلط بعدد المناطق. في كل وحدة خط يتم خلط الهواء الساخن مع الهواء البارد على حسب درجة حرارة التغذية المطلوبة لكل منطقة. إذن هذا النظام يعمل بالمبدأ نفسه الذي يعمل به نظام ثنائي مجاري الهواء ولكن يكون الخلط في نظام ثنائي مجاري الهواء بجوار كل منطقة بينما في نظام المناطق التعددية يتم بعيدا في وحدة مناولة الهواء المركزية.

يوضح الشكل رقم (٣،٥٤) كيفية تغير خوانق الهواء في المنطقة مع التغير في درجة حرارة الفضاء المكيف. في حالة انخفاض درجة الحرارة الخارجية يعمل النظام على ابقاء درجة حرارة الفضاء الداخلي عند (21 °C) وذلك بفتح كامل لخانق الهواء الساخن وإغلاق كلي للهواء البارد وعند ارتفاع درجة الحرارة الداخلية يعمل الحاكم

على إغلاق جزئي لخوانق مجرى الهواء الساخن وفتح جزئي لخوانق الهواء البارد وذلك للحصول على نقطة التغذية المناسبة في المدى المحدد مع بقاء حجم الهواء ثابت ومع استمرار ارتفاع درجة الحرارة تستمر عملية فتح خانق الهواء البارد وإغلاق خانق الهواء الساخن. عند وصول درجة الحرارة داخل المكان إلى (25 °C) يكون خانق الهواء البارد قد فتح بشكل كامل وخانق الهواء الساخن قد أغلق بشكل كامل. مدى التغير في درجة حرارة الفضاء من (21 °C) إلى (25 °C) مع تغير هواء التغذية إلى المنطقة من هواء ساخن كلي إلى هواء بارد كلي يعمل على استخدام الحد الأدنى للطاقة في حدود الراحة المطلوبة داخل الفضاء المكيف.



الشكل رقم (٣،٥٣). نظام تحكم المناطق التعددية ثنائي مجاري الهواء.



الشكل رقم (٣،٥٤). التحكم في الخوانق مع تغير الحمل الحراري للمنطقة في النظام الثنائي مجاري الهواء.

من الضروري أن يصمم مجرى الهواء البارد ومجرى الهواء الساخن في نظام المناطق التعددية أو ثنائي مجاري الهواء بحيث يستوعب جميع هواء التغذية ؛ لأن متطلبات التكييف للمناطق قد تقتضي أن يكون جميع أو معظم الهواء من الهواء البارد عند ارتفاع الحمل الحراري في أغلب المناطق أو أن يكون جميع أو معظم هواء التغذية من الهواء الساخن عند انخفاض الحمل الحراري في أغلب المناطق.

(٣،٤،٢،٤) نظام التحكم الثلاثي مجاري الهواء

من أبرز عيوب نظام مجاري الهواء الثنائي استهلاك الطاقة الزائد ؛ لأن ملف التبريد وملف التسخين يعملان معاً تحت جميع الظروف. هذا العيب يمكن توضيحه بالمثال التالي :

مثال (٣،٢): حساب الطاقة الحرارية لنظام مجاري الهواء الثنائي.

فضاء مكيف عند درجة حرارة 25 °C له حمل محسوس 6 kW و حمل تدفئة 8 kW يعمل بواسطة نظام ثنائي مجاري الهواء بحيث إن درجة حرارة بعد ملف التبريد $t_c =$ 13 °C و درجة الحرارة بعد ملف التسخين $t_h =$ 40 °C

عند لحظة ما إذا كان الحمل الحراري الكلي في الفضاء 3 kW ودرجة حرارة الهواء الراجع إلى وحدة مناولة الهواء $t_R =$ 24 °C

احسب الطاقة الحرارية المضافة من ملف التبريد وتلك من ملف التسخين لتغطية الحمل الحراري في الفضاء.

الحل:

في البداية يتم حساب معدل السريان الكلي عند الحمل الأقصى في حالة التدفئة وفي حالة التبريد

$$\dot{m}_h = \frac{Q_h}{Cp(t_h - t_R)} = \frac{8}{1*(40-24)} = 0.5\, kg/s$$

$$\dot{m}_c = \frac{Q_h}{Cp(t_R - t_c)} = \frac{6}{1*(24-13)} = 0.55\, kg/s$$

لأن النظام ثابت الحجم، يتم اختيار الحمل الأكبر وبذلك يكون $\dot{m}_t = 0.55\, kg/s$

بعد ذلك يتم حساب درجة حرارة التغذية إلى الفضاء عندما يكون الحمل الحراري 3 kW

$$Q = \dot{m}_t Cp(t_{space} - t_s)$$

وبهذا يكون

$$t_s = t_{space} - \frac{Q}{\dot{m}_t Cp} = 25 - \frac{3}{0.55*1} = 19.55\, ^oC$$

يمكن الآن حساب معدل السريان خلال ملف التبريد، وخلال ملف التسخين من الاتزان الحراري في صندوق الخلط

$$\dot{m}_c Cp * t_c + \dot{m}_h Cp * t_h = \dot{m}_h Cp * t_s$$

بالتعويض عن قيمة t_s و t_R و t_c و t_h وملاحظة ان $\dot{m}_h = \dot{m}_t - \dot{m}_c$ نحصل على

$$\dot{m}_h = 0.133\, kg/s \text{ و } \dot{m}_c = 0.416\, kg/s$$

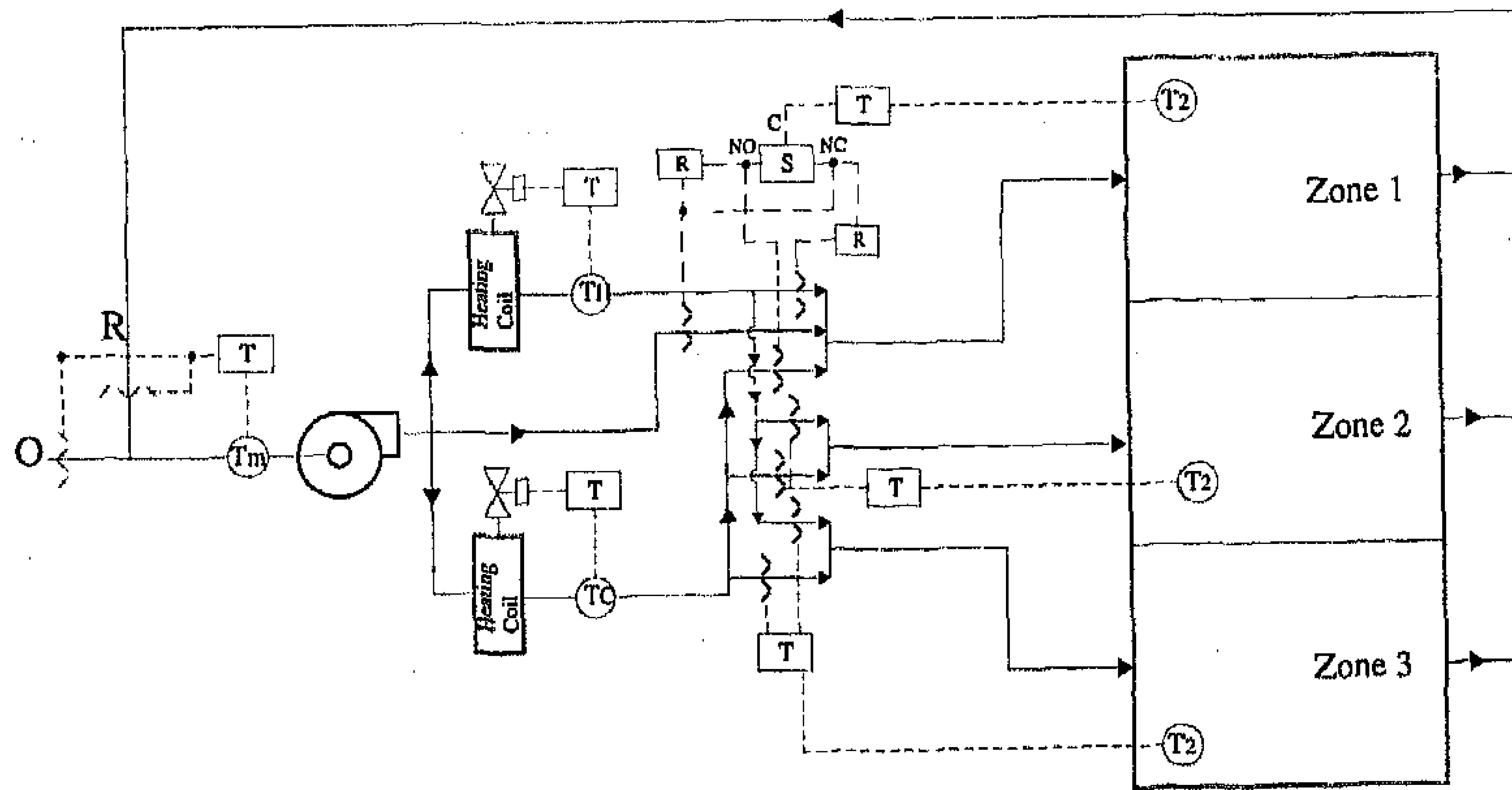
وبذلك يكون الحمل الحراري على ملف التبريد .

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c Cp(t_m - t_c) = 0.416{*}1{*}(24-13) = 4.58\ kW$$

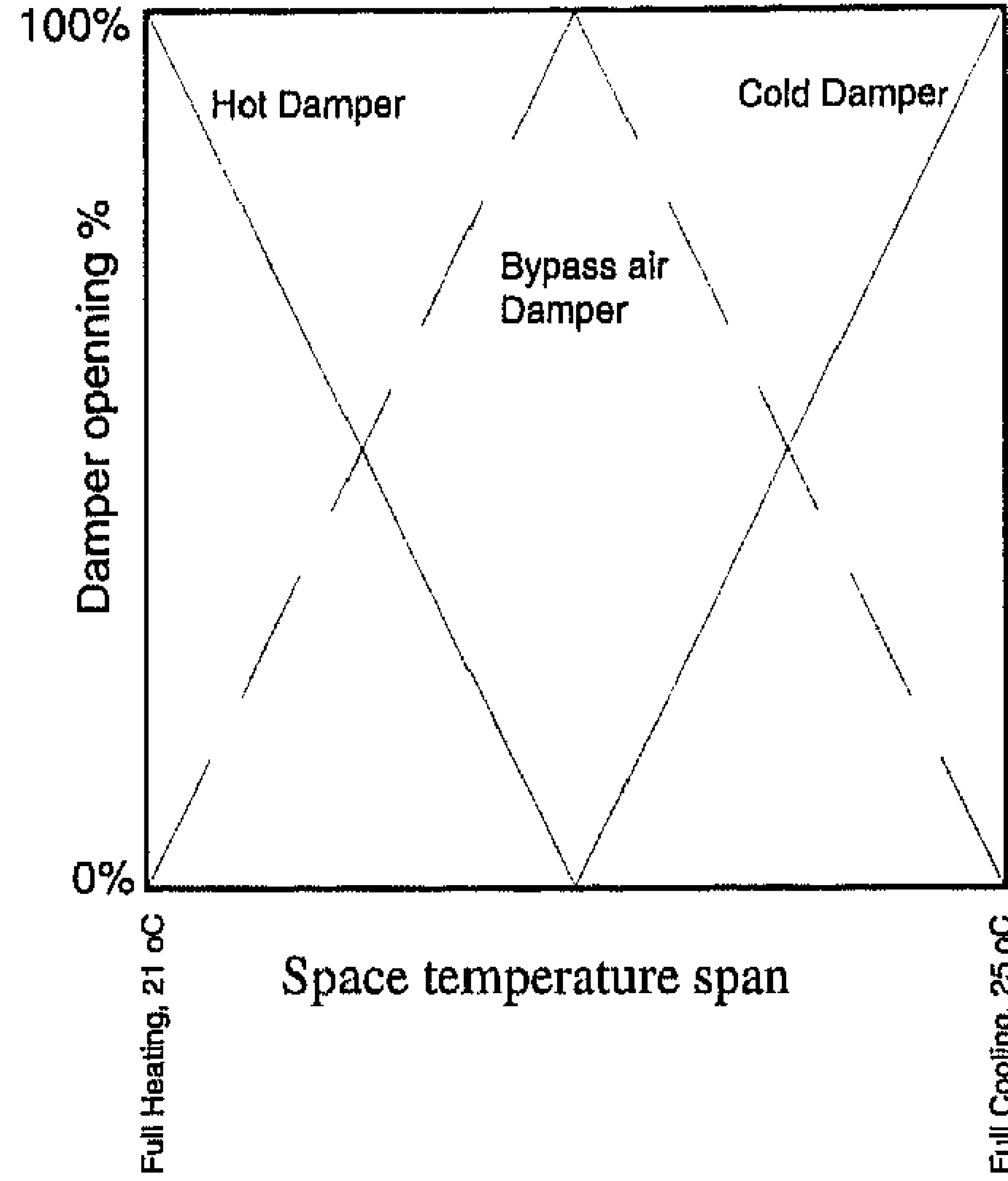
وحيث إن الحمل3 kW فهذا يعني أن هناك حمل أكبر من الحمل الحقيقي مقداره 1.58 kW وهذا يعد طاقة مهدرة (Thermal bucking).

يمكن تلافي هذا العيب بتوظيف نظام ثلاثي **مجاري الهواء** (triple control system) كما يوضح الشكل رقم (٣,٥٥) حيث يتم إظهار تفاصيل عملية التحكم للمنطقة 1 (zone1) فقط لتجنب التعقيد. يسري في مجرى الهواء الإضافي هواء جانبي (لا يمر خلال ملف التبريد ولا ملف التسخين) عندما تكون درجة الحرارة الخارجية منخفضة يعمل المفتاح S على توجيه إشارة الحاكم إلى خانق الهواء الساخن وخانق الهواء التجنيبي وحجبها عن خانق الهواء البارد. عندما تكون نقطة ضبطه أقل من نقطة محددة. وفي حالة أن درجة حرارة الفضاء المكيف أعلى من نقطة الضبط يتم توجيه الإشارة إلى خانق الهواء البارد وخانق الهواء التجنيبي وحجبها عن خانق الهواء الساخن. تكون عملية التحكم بالشكل التالي: عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي منخفضة يكون خانق الهواء الساخن مفتوح كلياً والهواء البارد ومجرى الهواء الجانبي مغلق كليا كما يوضح الشكل رقم (٣,٥٦). مع ارتفاع درجة حرارة الفضاء المكيف تزيد إشارة خرج (output signal) الحاكم تدريجياً فيغلق خانق الهواء الساخن تدريجياً حيث تصله إشارة الخرج عبر مرحل عاكس (R) ويفتح خانق الهواء التجنيبي

تدريجيا. ينتج من عملية الخلط انخفاض درجة حرارة التغذية بما يتناسب مع الارتفاع في الحمل الحراري. مع استمرار ارتفاع درجة حرارة الفضاء المكيف تزيد إشارة خرج الحاكم الواصلة إلى خانق الهواء الساخن فيستمر في الغلق الجزئي و تزيد إشارة خرج الحاكم الواصلة لخانق الهواء التجنيبي فيستمر في الفتح إلى أن يصبح خانق الهواء الساخن في حالة إغلاق كامل وخانق الهواء التجنيبي في حالة فتح كامل عندئذ يعمل المفتاح S على حجب الإشارة عن خانق الهواء الساخن وإرسالها إلى خانق الهواء البارد فيبدأ بالفتح تدريجياً، ويبدأ خانق الهواء التجنيبي بالغلق تدريجيا حيث تصل إليه الإشارة عبر مرحل عاكس (R). مع استمرار ارتفاع (T_R) تزداد إشارة خرج الحاكم فيفتح خانق الهواء البارد بشكل أكبر ويغلق الهواء التجنيبي إلى أن يصبح جميع هواء التغذية من الهواء المار خلال ملف التبريد وبذلك تكون درجة حرارة الفضاء المكيف عند (25 °C). بهذه الطريقة لا يتم في صناديق الخلط تحت جميع ظروف التشغيل خلط هواء بارد مع هواء ساخن فيحصل التوفير في استهلاك الطاقة.



الشكل رقم (٣،٥٥). نظام التحكم المناطق التعددية الثلاثي مجاري الهواء.



الشكل رقم (٣،٥٦) تغير الخوانق مع تغير درجة حرارة الهواء في النظام الثلاثي مجاري الهواء.

(٣،٤،٢،٥) نظام التحكم المتغير الحجم

في نظام التحكم المتغير الحجم (Variable-Air Volume control System) يستجيب النظام للتغير في الحمل عن طريق التحكم بمعدل سريان هواء التغذية للمنطقة. يتم ذلك خلال التحكم بخوانق الهواء في مجرى التغذية للمنطقة. كل منطقة مستقلة عن الأخرى في عملية التحكم.

الشكل رقم (٣,٥٧) يوضح عملية التحكم في نظام التحكم المتغير الحجم. عند انخفاض الحمل الحراري يعمل حاكم درجة حرارة للمنطقة على إغلاق جزئي لخانق هواء التغذية بما يتناسب مع الانخفاض في الحمل الحراري وبذلك ينخفض معدل سريان هواء التغذية للمنطقة. وفي المقابل عند ارتفاع الحمل الحراري في المنطقة، يعمل حاكم درجة الحرارة على فتح خوانق الهواء فيدخل هواء بمعدل أكبر للمنطقة.

يضبط حاكم درجة الحرارة في المناطق خوانق هواء التغذية للمناطق على الوضع المغلق جزئيا عند انخفاض الحمل الحراري في معظم المناطق فيؤدي ذلك إلى ارتفاع الضغط في خط التغذية للمناطق و إلى ارتفاع الضغط في مجرى الهواء الرئيسي مما يتطلب الحاجة إلى خفض معدل السريان القادم من وحدة مناولة الهواء. لتحقيق ذلك يركب حاس للضغط الإستاتيكي لقياس الضغط داخل المجرى على بعد حوالي ثلثي طول المجري الرئيسي من مروحة الدفع. يعمل حاكم الضغط الإستاتيكي على مقارنة إشارة الحاس مع نقطة إسناد. في حالة انخفاض الفرق في الضغط يعمل الحاكم على إرسال إشارة لخفض معدل السريان القادم من وحدة مناولة الهواء ومن ثم استعادة فرق الضغط المحدد عند التصميم.

التحكم بمعدل السريان في وحدة مناولة الهواء يتم بأحد الطرق الآتية :

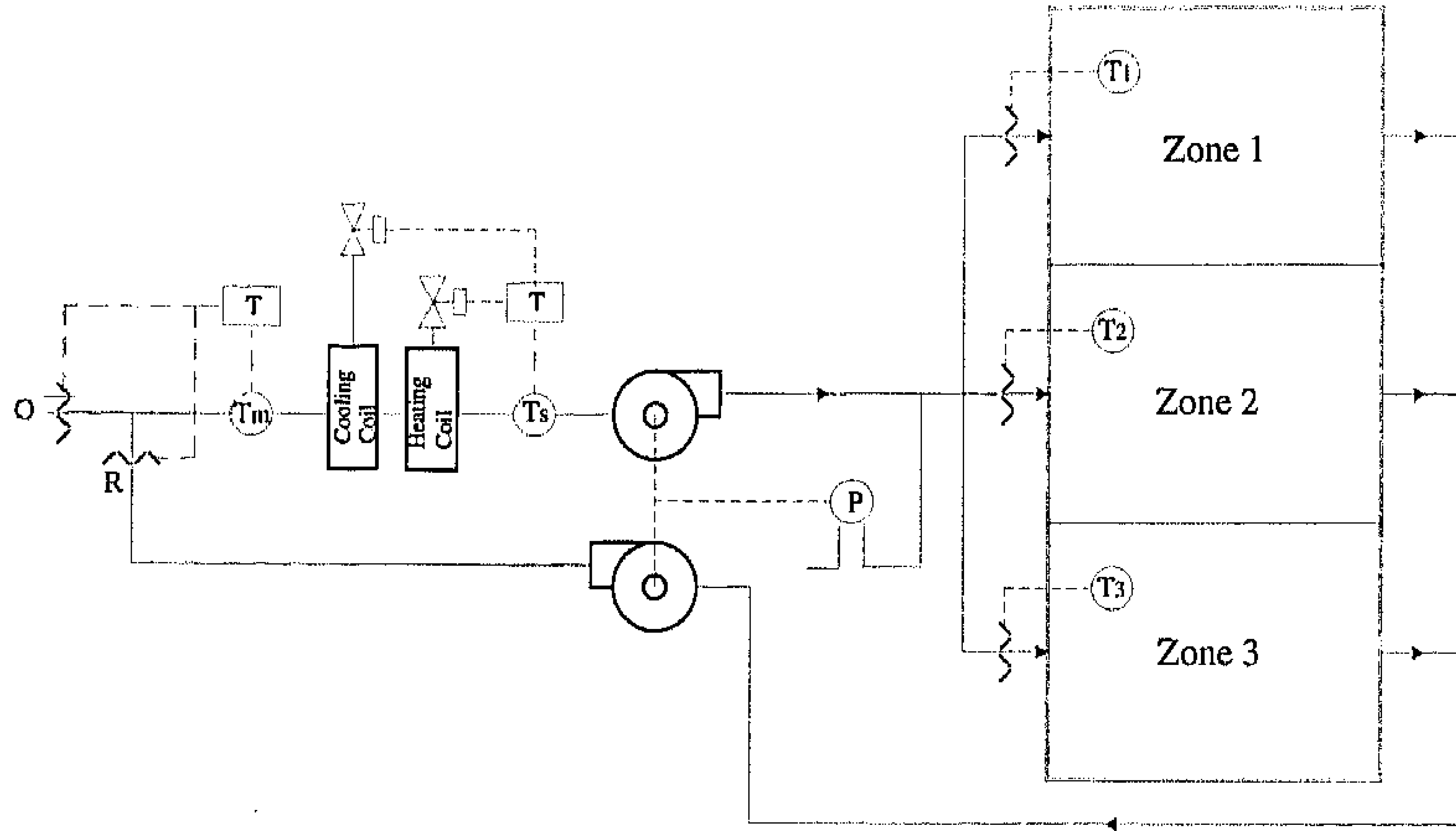
- التحكم بخوانق الهواء عند مدخل مروحة الدفع.
- التحكم بخوانق الهواء عند مخرج مروحة الدفع.
- التحكم بسرعة المروحة.

وجد أن أكبر توفير في الطاقة ينتج من التحكم المباشر بالمروحة.

للحفاظ على الضغط الإستاتيكي داخل الحيز المكيف ، يجب أن يعمل حاس الضغط على خفض معدل سريان الهواء الراجع أيضاً ، وبذلك يتم الاحتفاظ بفرق الضغط بين التغذية والراجع.

نظام الهواء المتغير الحجم يعمل على خفض معدل سريان الهواء عند انخفاض الحمل الحراري للحفاظ على ظروف التكييف داخل الفضاء المكيف. عند استمرار انخفاض الحمل الحراري يقل معدل سريان الهواء إلى أن يصل إلى مستوى مُتدني.

معدل السريان المتدني لهواء التغذية يجعل من الممكن وصول تهوية الهواء (ventilation) في المكان المكيف إلى أقل من المستوى الذي تتطلبه راحة شاغلي المكان.

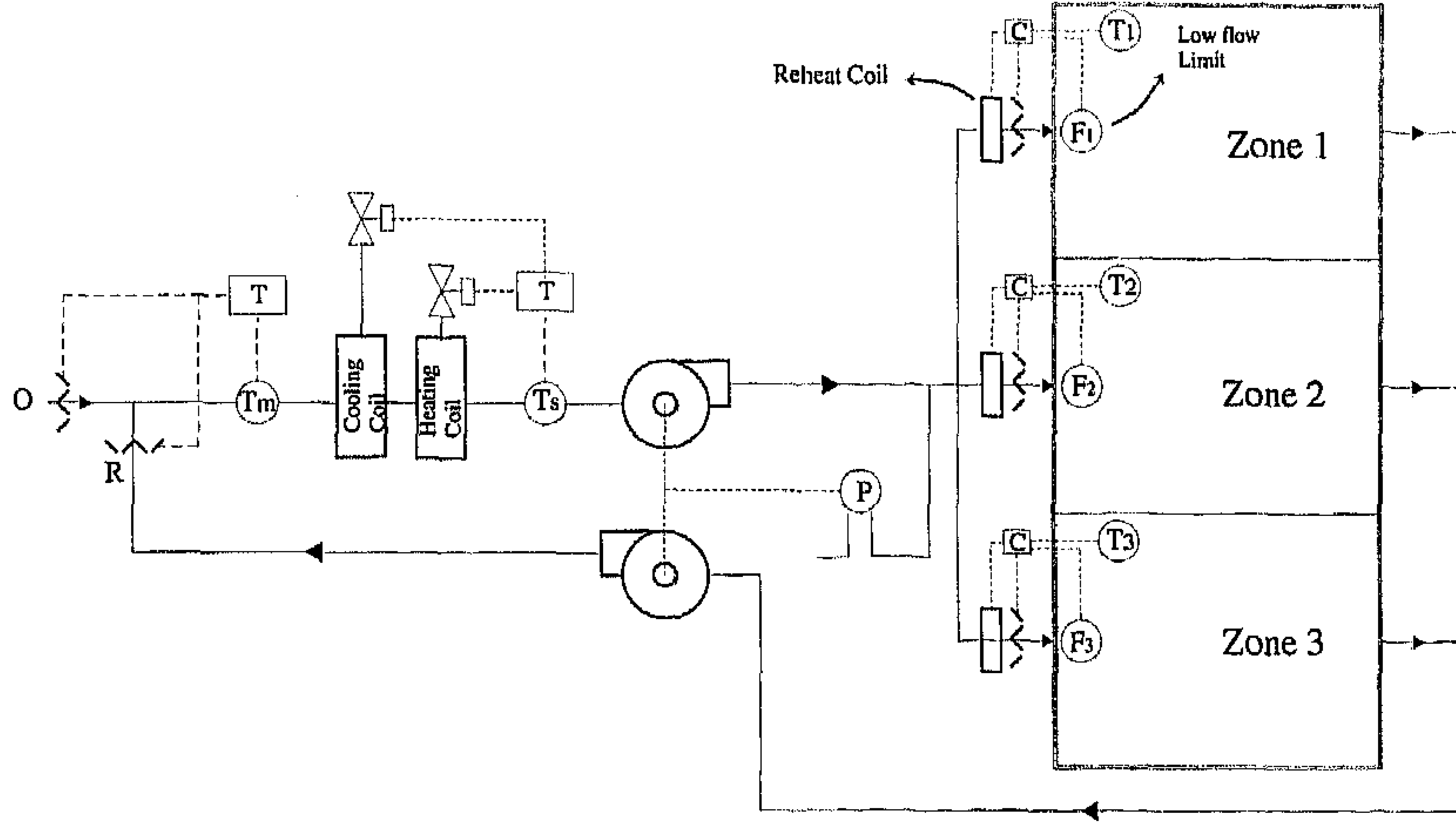


الشكل رقم (٣،٥٧). نظام التحكم المتغير الحجم.

لحل هذه المشكلة يتم تحديد قيمة دنيا لمعدل سريان هواء التغذية ويزود نظام التحكم بحاس لقياس سرعة سريان هواء التغذية للمنطقة (F) ويزود نظام التحكم بملف إعادة تسخين (reheat coil) كما يوضح الشكل رقم (٣,٥٨).

يكون التحكم في البداية عن طريق حاكم درجة الحرارة (T). عند انخفاض الحمل الحراري يعمل حاكم درجة الحرارة للمنطقة على غلق جزئي للخوانق. يستمر التحكم عن طريق الخوانق إلى أن يصل معدل سريان هواء التغذية إلى قيمة دنيا عندها يرسل حاس سرعة السريان (F) إشارة إلى الحاكم فينتقل التحكم من الخوانق إلى ملف التسخين. يعمل الحاكم على تثبيت الخوانق عند وضع محدد للحصول على الحد الأدنى من هواء التغذية والحفاظ على التهوية داخل المكان عند الحد المقبول. في هذه الأثناء يتم

التحكم بدرجة حرارة الفضاء عن طريق تشغيل ملف التسخين لتجنب إنخفاض درجة الحرارة عن الحد المسموح به.

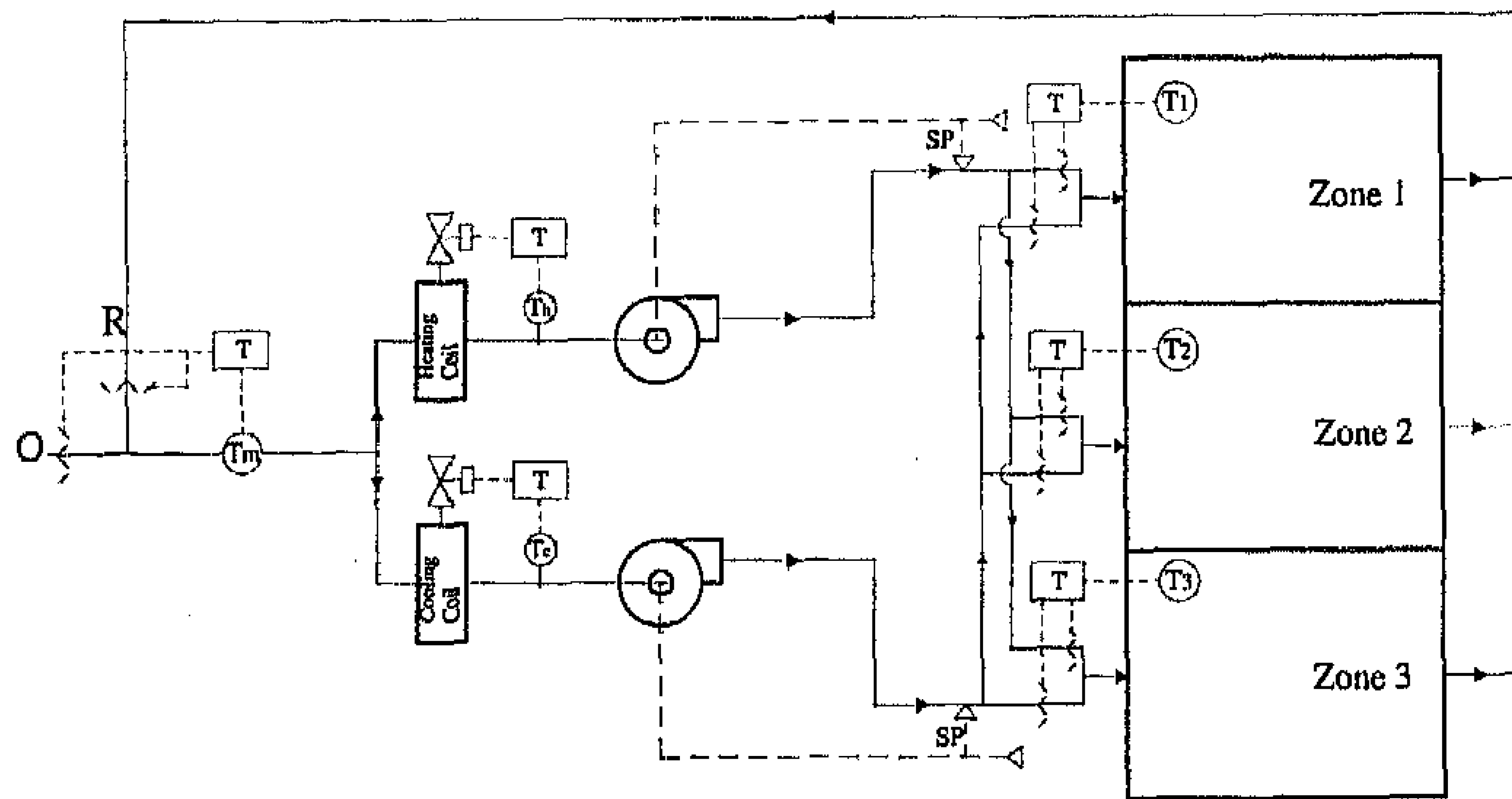


الشكل رقم (٣،٥٨). نظام التحكم المتغير الحجم المزود بملف إعادة تسخين.

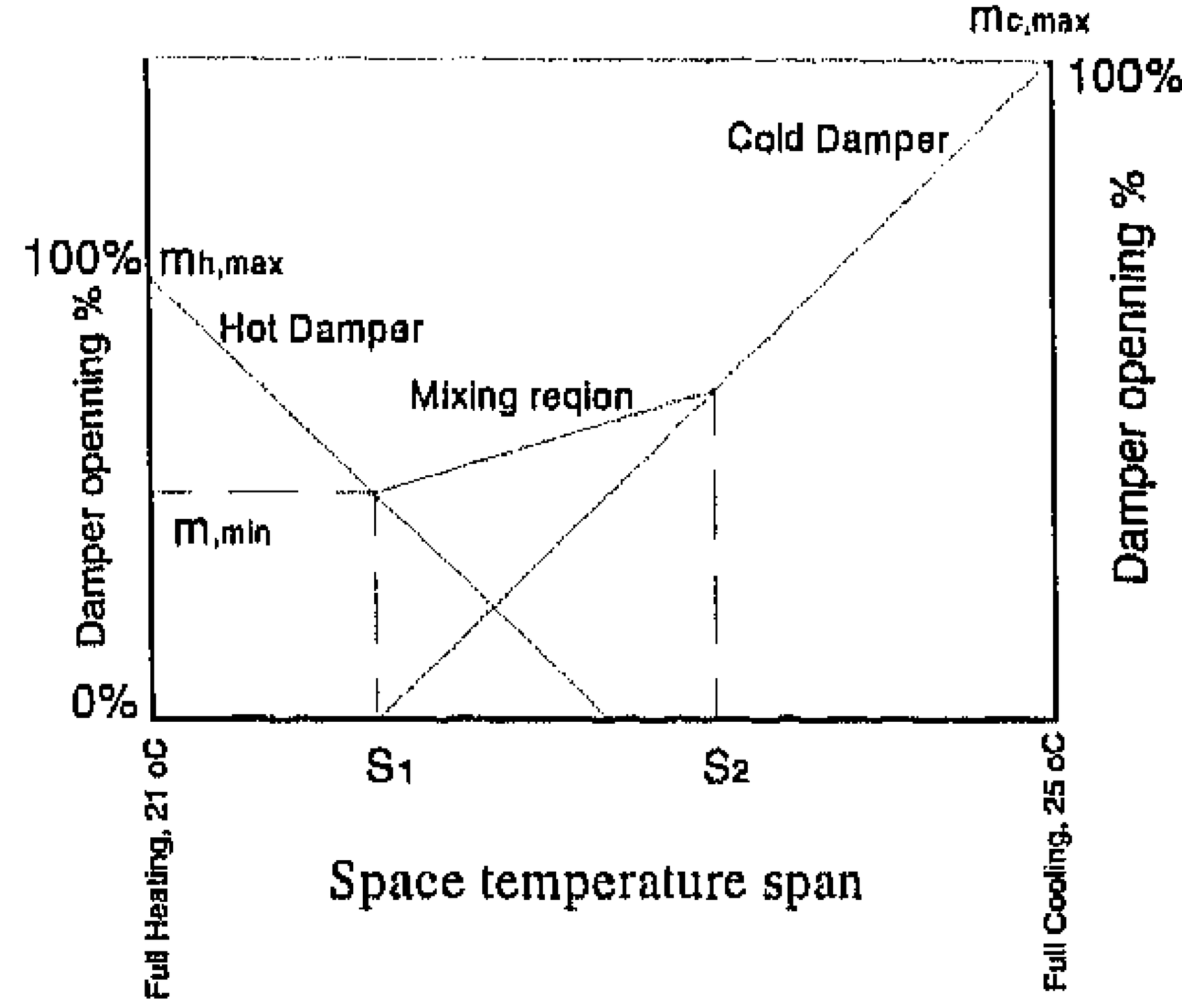
(٣،٤،٢،٦) نظام التحكم المتغير الحجم الثنائي مجاري الهواء

سبق ودرسنا نظام التحكم الثابت الحجم ثنائي مجاري الهواء وكان من عيوبه استخدامه للطاقة الزائدة للحصول على درجة الحرارة المناسبة للفضاء المكيف. مع إمكانية استخدام مراوح دفع أو سحب بسرعات مختلفة يمكن استخدام النظام الثنائي مجاري الهواء المتغير الحجم (Variable-Air Volume dual-duct control System) ويتم التحكم بظروف الفضاء من خلال تغيير معدل سريان الهواء الداخل. يوضح الشكل رقم (٣,٥٩) نظام التحكم المتغير الحجم ثنائي مجاري الهواء ويوضح الشكل رقم (٣,٦٠) تغير خوانق الهواء مع تغير درجة حرارة الفضاء المكيف. في حالة انخفاض درجة الحرارة الخارجية يعمل النظام على فتح خانق الهواء الساخن بشكل كامل

وإغلاق كلي للهواء البارد وتكون درجة حرارة الفضاء الداخلي عند (21 °C) ويكون التحكم بالكامل عن طريق خانق الهواء الساخن وحجم هواء التغذية متناسب مع الحمل الحراري للتدفئة للمنطقة. مع ارتفاع درجة حرارة المنطقة يعمل الحاكم على إغلاق جزئي لخانق مجرى الهواء الساخن ليتناسب معدل سريان الهواء الساخن مع الحمل الحراري للمنطقة. ومع استمرار ارتفاع درجة الحرارة المنطقة يستمر خانق الهواء الساخن في الإغلاق إلى أن يصل معدل السريان إلى حد أدنى عندئذ يبدأ خانق الهواء البارد في الفتح ويستمر خانق الهواء الساخن في الغلق ويكون التحكم عن طريق خلط الهواء البارد مع الهواء الساخن إلى أن يصل إلى نقطة محدده يغلق عندها خانق الهواء الساخن وينتقل التحكم بالكامل إلى الهواء البارد. يعمل الحاكم على فتح خانق الهواء البارد بما يتناسب مع ارتفاع درجة حرارة المنطقة إلى أن تصل إلى (25 °C). يكون عندها خانق الهواء البارد في حالة فتح بالكامل ويحدد حجم هواء التغذية في هذه الحالة من الحمل الحراري للمنطقة. إذا يتميز النظام ثنائي مجاري الهواء المتغير الحجم عن النظام الثابت الحجم بأن استخدام الهواء البارد والساخن معا يكون محدوداً.



الشكل رقم (٣،٥٩). نظام ثنائي مجاري الهواء المتغير الحجم.



الشكل رقم (٣،٦٠). تغير خوانق الهواء في نظام ثنائي مجاري الهواء المتغير الحجم مع التغير في الحمل الحراري للمنطقة.

مثال (٢): تحديد نقاط التحكم لنظام ثنائي مجاري الهواء متغير الحجم.

نظام ثنائي مجاري الهواء متغير الحجم يخدم فضاء مكيف عند درجة حرارة (25 °C) له حمل محسوس 6 kW و حمل تدفئة 6.5 kW .

درجة الحرارة بعد ملف التبريد $t_c = 13$ °C و درجة الحرارة بعد ملف التسخين $t_h = 40$ °C

درجة حرارة الهواء الراجع إلى وحدة مناولة الهواء $t_R = 24$ °C

يحدد الحد الأدنى لهواء التغذية بـ ٤٠ ٪ من هواء التغذية الأقصى

المطلوب:

أ) وضح بالرسم تغير مناطق التحكم للنظام مع تحديد درجات حرارة المنطقة التي يتغير عندها التحكم.

ب) حدد منطقة التحكم في حالة أن الحمل المحسوس للمنطقة 3 kW مع التوضيح.

الحل:

أ) مناطق التحكم يوضحها الشكل رقم (٣،٦٠) وفيما يلي سوف نحسب درجات الحرارة عن النقاط s_1 و s_2 .

معدل السريان عند الحمل الأقصى للتدفئة

$$\dot{m}_{h,\max} = \frac{Q_h}{Cp(t_h - t_R)} = \frac{7}{1*(40-24)} = 0.44 kg/s$$

معدل السريان عند الحمل الأقصى للتبريد

$$\dot{m}_{c,\max} = \frac{Q_h}{Cp(t_R - t_c)} = \frac{6}{1*(24-13)} = 0.55 kg/s$$

الحد الأدنى لهواء التغذية

$$\dot{m}_{\min} = 0.4 * \dot{m}_c = 0.4 * 0.55 = 0.22 kg/s$$

معادلة الخط المستقيم التي تربط معدل سريان الماء البارد والماء الساخن بدرجة حرارة المنطقة كما يوضح الشكل رقم (٦٠، ٣) تعطى بالعلاقة التالية:

$$\dot{m}_c = \dot{m}_{c,\max} - m(25 - t_{space})$$

$$\dot{m}_h = \dot{m}_{h,\max} - m(t_{space} - 21)$$

حيث إن m : ميل الخط.

يمكن إيجاد درجة حرارة المنطقة عند النقطة (s1) وميل الخط المستقيم (m) بوضع $\dot{m}_c = 0$ و $\dot{m}_h = \dot{m}_{h,\min}$ في المعادلتين السابقتين على النحو التالي:

$$0 = \dot{m}_{c,\max} - m(25 - t_{space,s1})$$

$$\dot{m}_{h,\min} = \dot{m}_{h,\max} - m(t_{space,s1} - 21)$$

بالتعويض بقيمة كل من $\dot{m}_{h,\min}$ و $\dot{m}_{h,\max}$ و $\dot{m}_{c,\max}$ يمكن الحصول على m= 0.192 و $t_{space,s1}$= 22.14 °C

بالتعويض عن قيمة m ووضع $\dot{m}_h = 0$ في معادلة خط الماء الساخن يمكن إيجاد $t_{space,s2} = 23.3\,^{\circ}C$

إذن منطقة الخلط تكون بين درجة حرارة $22.14^{\circ}C$ و $23.3\,^{\circ}C$

ب) يمكن إيجاد حمل التدفئة عند النقطة s_1 والحمل الحراري للتبريد عند النقطة s_2

$$Q_{s1} = \dot{m}_{h,\min} Cp(t_h - t_{space}) = 0.22 * 1 * (40 - 25) = 3.3KW$$

$$Q_{s2} = \dot{m}_{c,s2} Cp(t_{space} - t_c)$$

حيث تحسب $\dot{m}_{c,s2}$ من معادلة خط الماء الساخن

$$\dot{m}_{c,s2} = \dot{m}_{c,\max} - m(25 - t_{space,s2}) = 0.55 - .192 * (25 - 23.3) = 0.2044 kg/s$$

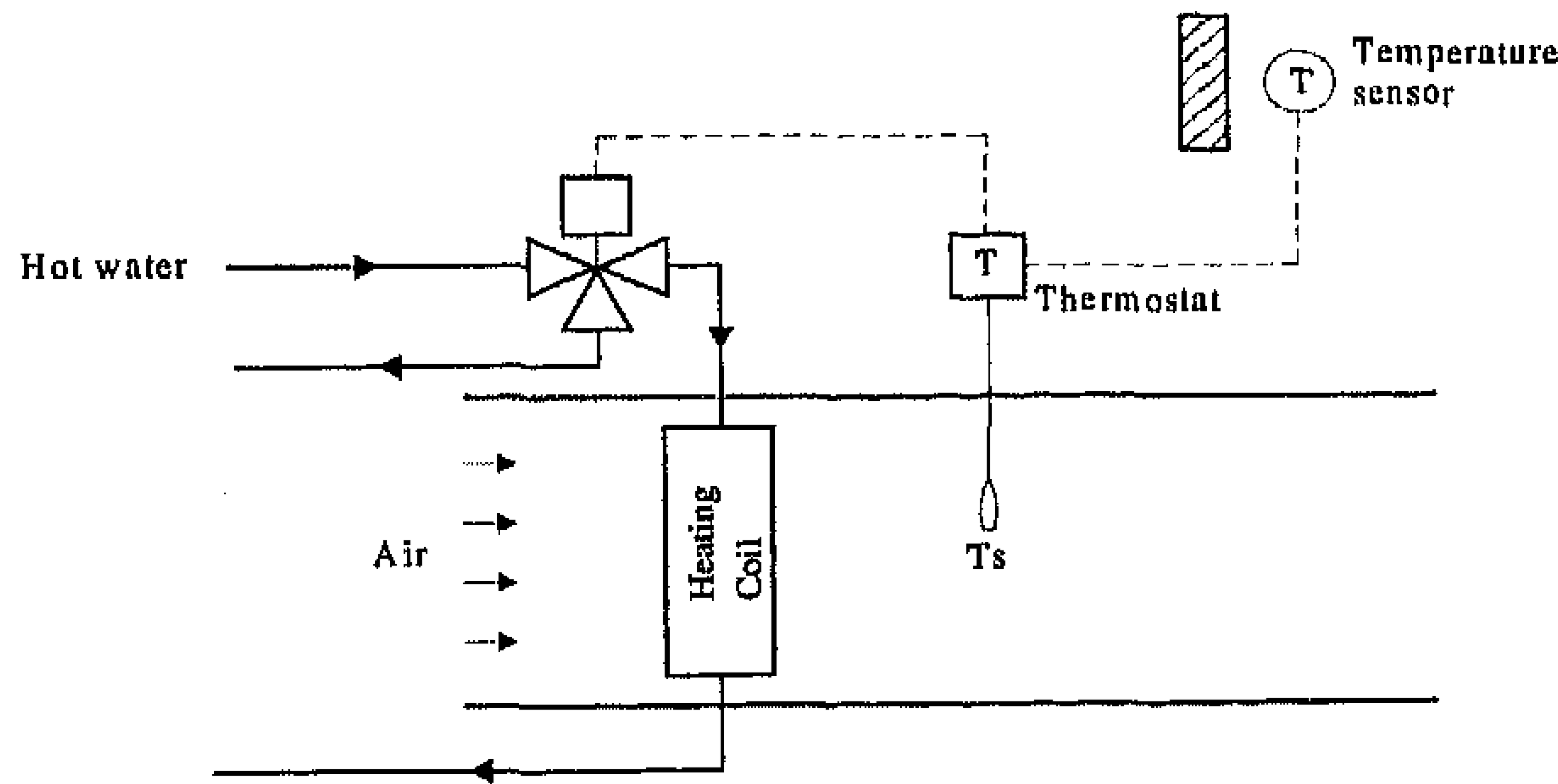
وبذلك يكون الحمل الحراري عند النقطة s_2

$$Q_{s2} = \dot{m}_{c,s2} Cp(t_{space} - t_c) = 0.2044 * 1 * (25 - 13) = 2.453KW$$

بما أن قيمة الحمل المحسوس 3 kW تجاوزت الحمل عند النقطة s_2 إذا التحكم يتم عن طريق الماء البارد فقط.

مسائل نظرية:

١- الشكل التالي لنظام التحكم عن طريق درجة الحرارة الخارجية. بين على شكل عناصر التحكم ؟



٢- ما الذي يميز نظام التحكم التناسبي عن نظام التحكم ذي الموضعين؟

٣- متى يستخدم كل من:

أ) صمام التحكم المتساوي النسبة؟ ب) صمام التحكم الخطي؟

٤- ما الذي يميز نظام التحكم التناسبي عن نظام التحكم ذو الموضعين؟

٥- عدد بعض الصمامات الشائعة؟

٦- ما الذي يميز صمام سدادة والصمام الأرضي عن الصمام الكروي؟

٧- متى يستخدم خانق هواء فراشة ؟

٨- بم تتميز خوانق الريش المتضادة عن خوانق الريش المتوازية ومتى تستخد كل منها؟

٩- متى يستخدم خانق هواء منزلق؟ ومتى يستخدم خانق هواء الغلق ؟

١٠- ما متطلبات التحكم بنسبة الهواء الخارجي؟

١١- صف تغير نسبة الهواء الخارجي مع درجة الحرارة الخارجية في حالة التحكم بواسطة الثيرموستات.

١٢- وضح طريقة التحكم عن طريق درجة الحرارة الخارجية.

١٣- وضح طريقة التحكم بالضغط الإستاتيكي ودواعي الحاجة إليه.

١٤- اذكر باختصار طرق الترطيب.

١٥- وضح عملية التحكم بالرطوبة عن طريق التبريد وإعادة التسخين.

١٦- وضح بالرسم التمثيل السيكرومتري لعملية إزالة الرطبة بالطريقة الكيميائية.

١٧- اذكر مميزات نظام رجوع الماء العكسي على نظام رجوع الماء المباشر.

١٨- اذكر الطرق المستخدمة للتحكم في تكييف النظام الثابت الحجم الأحادي المنطقة وصف أحدها.

١٩- اذكر الطرق المستخدمة للتحكم في تكييف نظام التحكم الثابت الحجم المتعدد المناطق وصف أحدها.

٢٠- وضح بالرسم طريقة نظام التحكم ثنائي مجاري الهواء وما عيوبه؟

٢١- اذكر مميزات نظام التحكم المتغير الحجم على نظام التحكم الثابت وعيوبه وطريقة تلافيها.

مسائل حسابية:

١- ثلاجة تعمل عند درجة حرارة (5 °C) وتفصل عند (2 °C) احسب تفاوت الحاكم وتفاوت التشغيل إذا كان التخلف الزمني يقدر بـ(0.5 °C) .

٢- فضاء مكيف عند درجة حرارة (25 °C) له حمل محسوس 5 kW وحمل تدفئة 7 kW يعمل بواسطة نظام ثنائي مجاري الهواء بحيث إن درجة الحرارة بعد ملف التبريد $t_c = 13$ °C و درجة الحرارة بعد ملف التسخين $t_h = 40$ °C ، عند لحظة ما إذا كان الحمل الحراري في الفضاء 2.5 kW ودرجة حرارة الهواء الراجع إلى وحدة مناولة الهواء $t_R = 24$ °C ، احسب الطاقة الحرارية المضافة من ملف التبريد وتلك التي من ملف التسخين لتغطية الحمل الحراري في الفضاء.

٣- نظام ثنائي مجاري الهواء متغير الحجم يخدم فضاء مكيفاً عند درجة حرارة 15 °C له حمل محسوس 5 kW و حمل تدفئة 8 kW درجة الحرارة بعد ملف التبريد $t_c =$ 13 °C و درجة الحرارة بعد ملف التسخين $t_h = 40$ °C ودرجة حرارة الهواء الراجع إلى وحدة مناولة الهواء $t_R = 24$ °C

يحدد الحد الأدنى لهواء التغذية بـ ٤٠ ٪ من هواء التغذية الأقصى

المطلوب:

أ) وضح بالرسم تغير مناطق التحكم للنظام مع تحديد درجات حرارة المنطقة التي يتغير عندها التحكم.

ب) حدد منطقة التحكم في حالة ما إذا كان الحمل المحسوس للمنطقة 3 kW مع التوضيح.

المراجع

References

1. A.M. Alklaibi, Determination of the Proper Exit Condition of Capillary Tube Based on Minimum Liquid Refrigerant Flashing, Fifth Saudi conference and exhibition, Riyadh Jan. 11-14, 2009.
2. ASHRAE. 2009. *ASHRAE handbook--2009 Fundamentals.* Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
3. Bill Whitman, Bill Whitman, John Tomczyck, Eugene Silberstein, Refrigeration and Air Conditioning Technology.6th Ed., Delmar Publishers, Paris 2009.
4. C.P. Arora, Refrigeration and Air Conditioning, 2nd Ed. Tata McGraw-Hill, New Delhi 2000.
5. J. F. Kreider, Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning, Washington, CRC Press LLC, D.C. 2001.
6. Jan F. Kreider, Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning, CRC Press, London 2001.
7. P. S. Curtiss, N. Breth, HVAC Instant Answers, McGraw-Hill, New York 2002.
8. P.N. Ananthanarayanan, Basic Refrigeration and Air Conditioning, McGraw-Hill Education, 1983.
9. Roger W. Haines, C. L. Wilson, HVAC Systems Design Hanbook, 4th ed., McGraw-Hill, New York 2003.
10. Roy J. Dossat, Principles of Refrigerration, 4th Ed. John Wiley & Sons, Toronto 2006.
11. W. F. Stocker, J W. Jones, Refrigeration & Air Conditioning, , 2nd ed., McGraw-Hill, New York 1982.
12. Wilbert F. Stoecker, Industrial Refrigeration Handbook, McGraw-Hill, New York 1998.

الملاحق

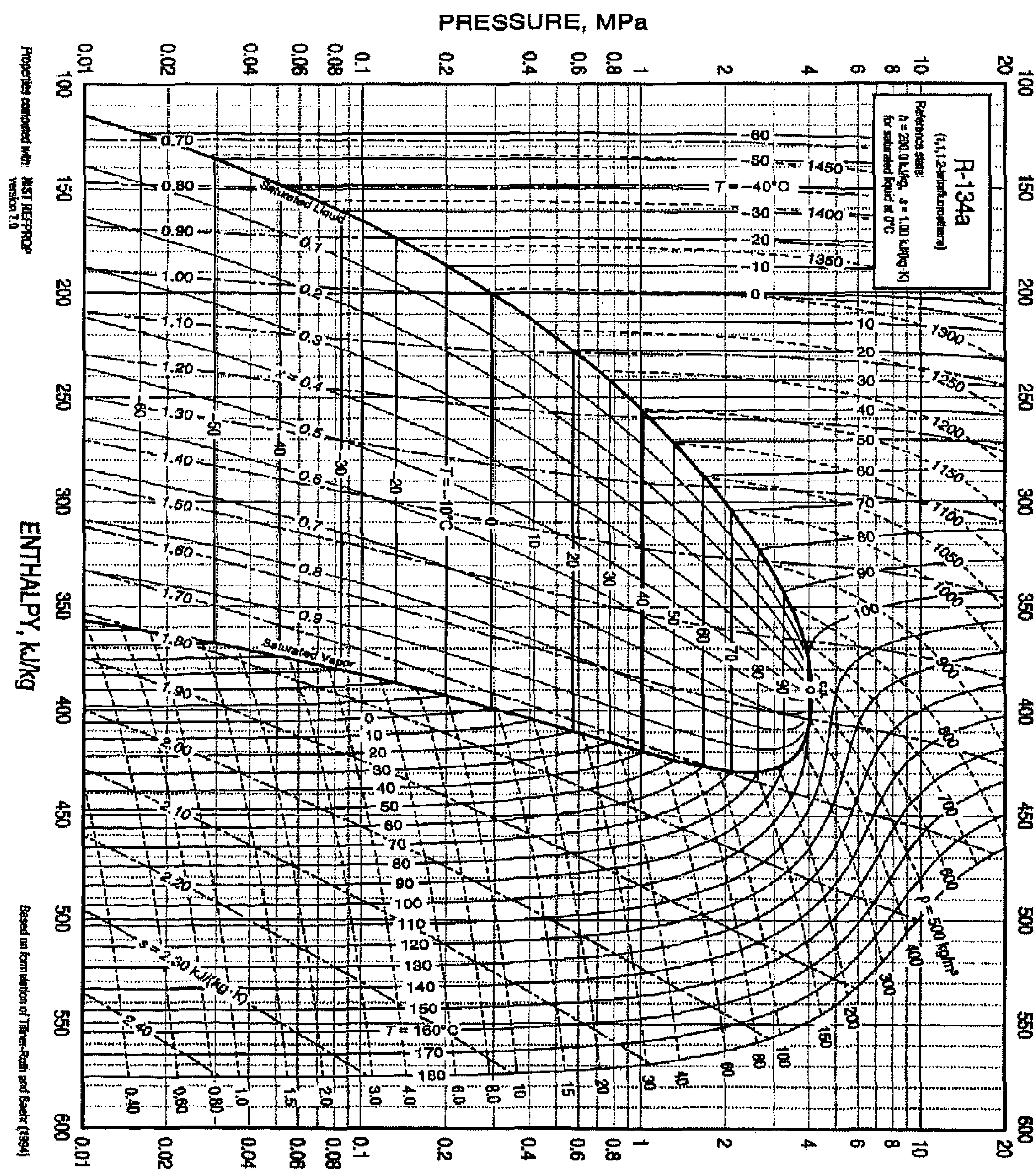
خرائط وجداول وسائط التبريد

Charts and Tables of Refrigerants

ملحق (A)

خرائط p-h

لوسائط التبريد



R-410A
[R-32/125 (50/50)]

Reference state: h = 200.0 kJ/kg, s = 1.00 kJ/(kg·K) for saturated liquid at 0°C

PRESSURE, MPa

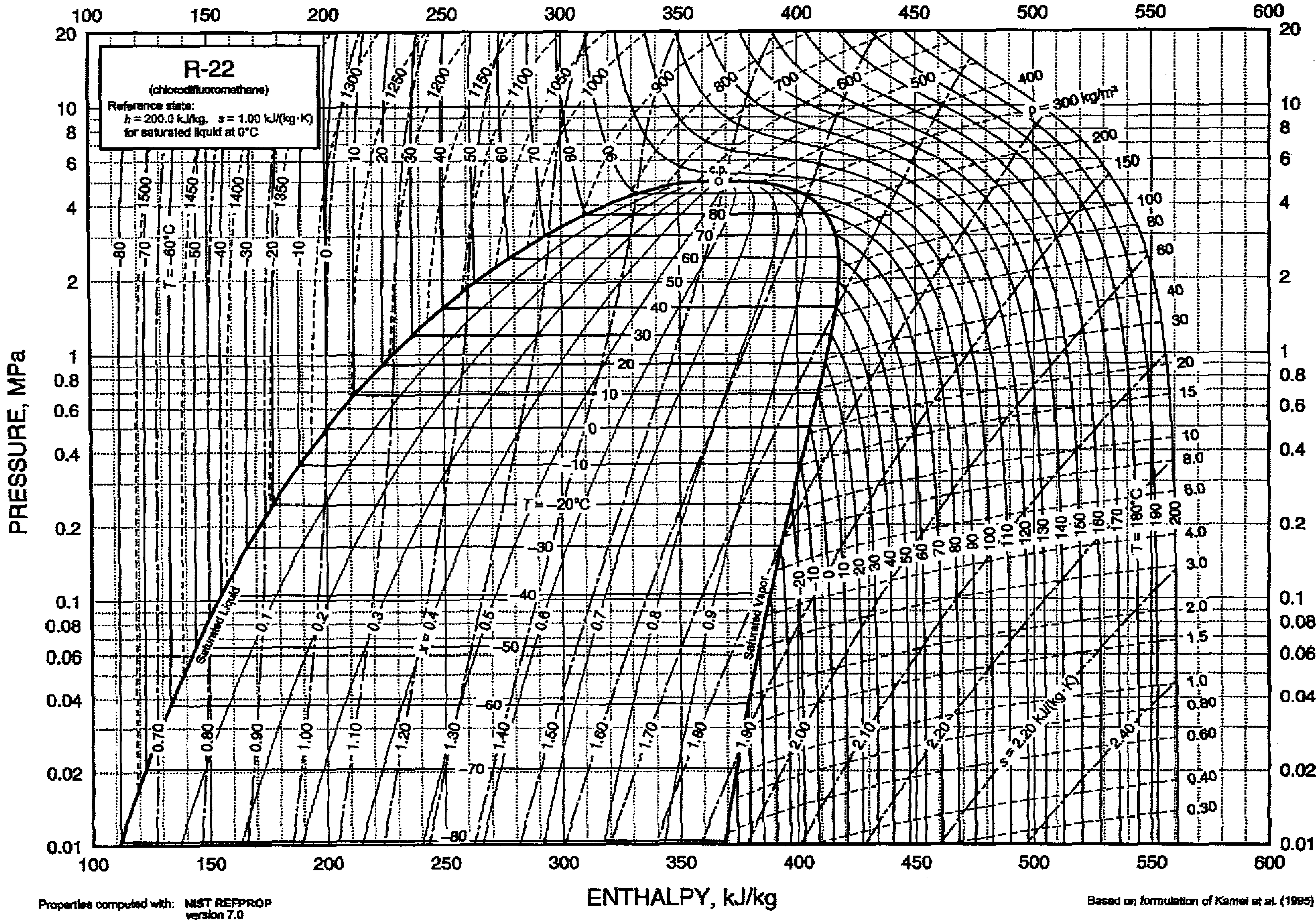
ENTHALPY, kJ/kg

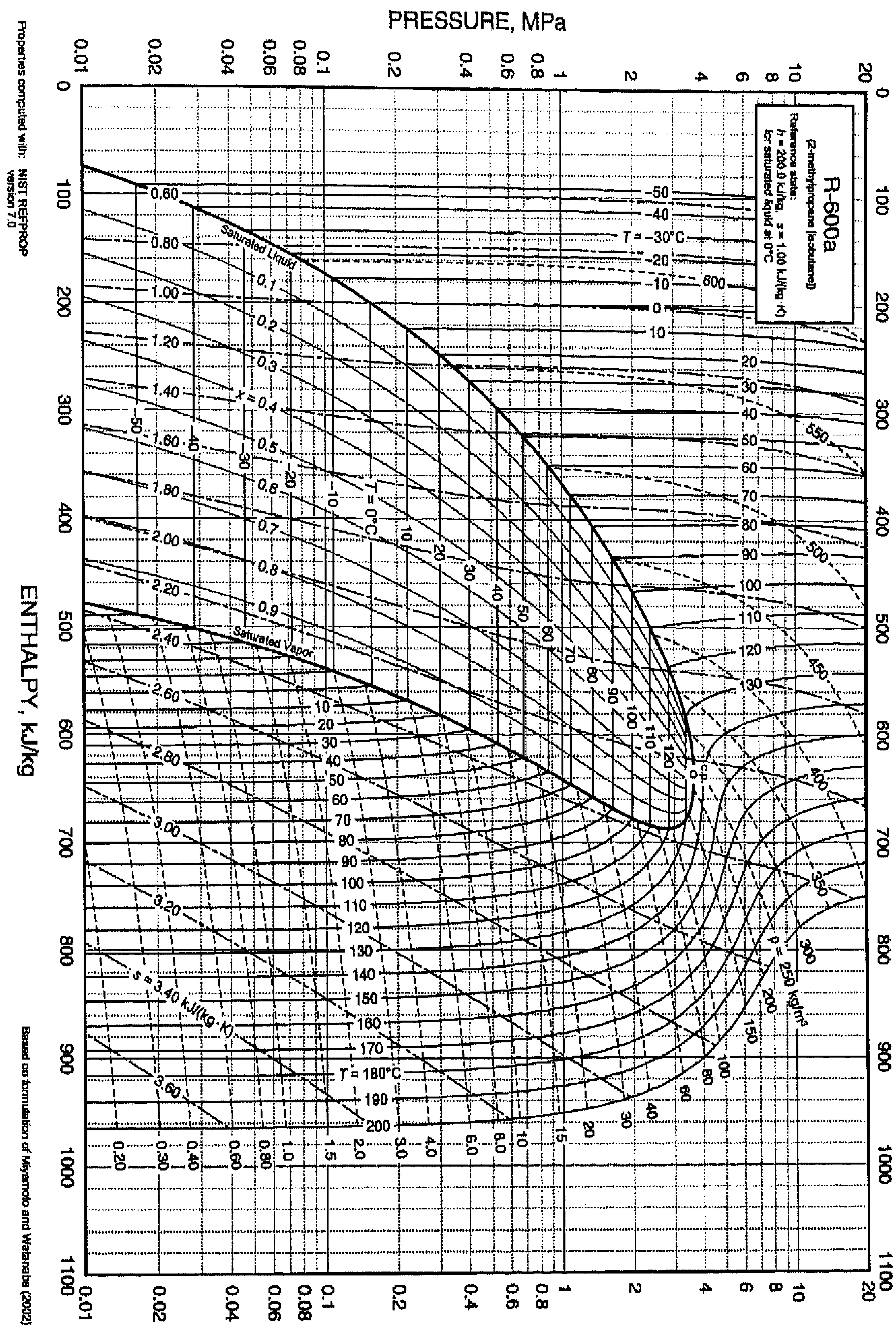
Saturated Liquid

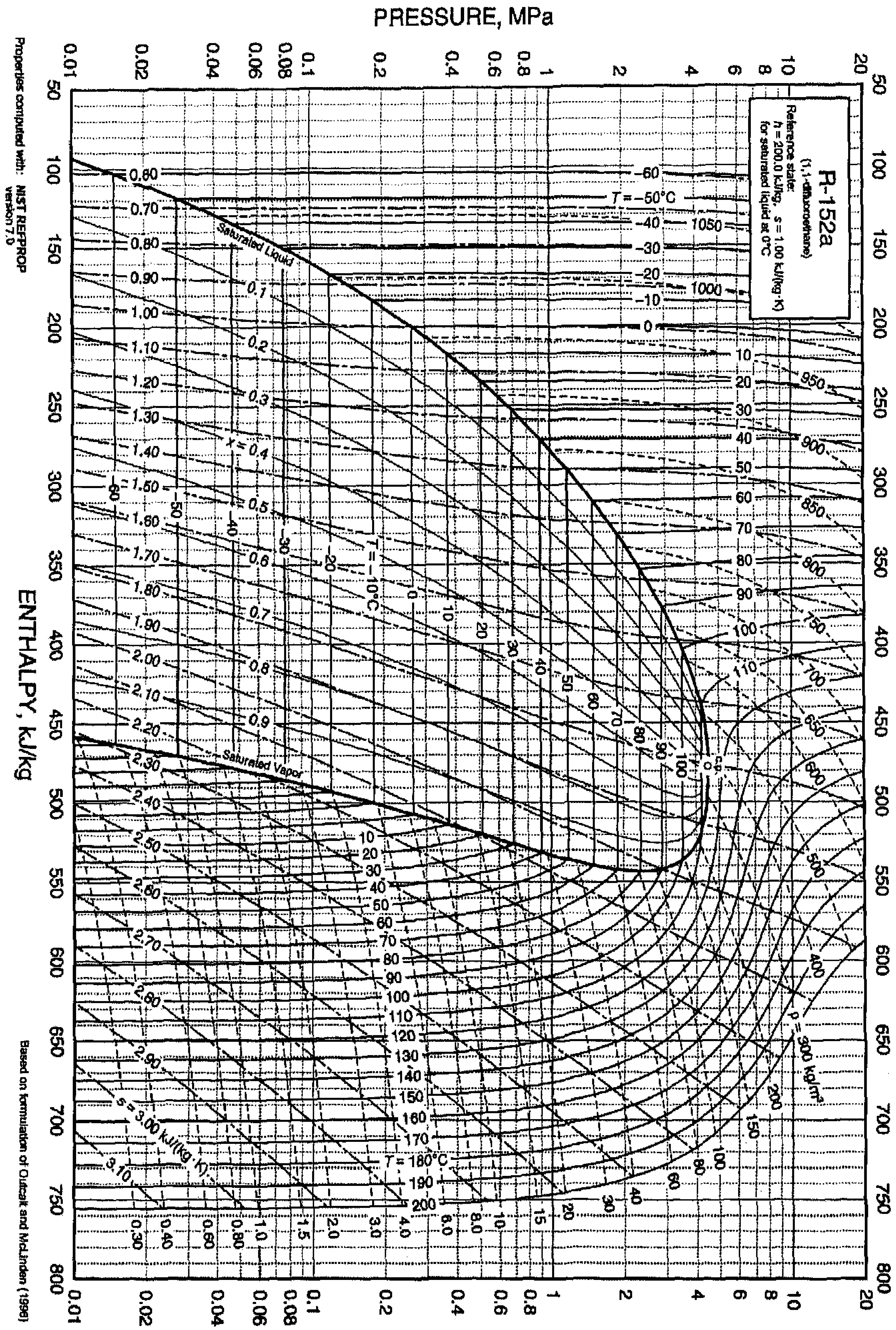
Saturated Vapor

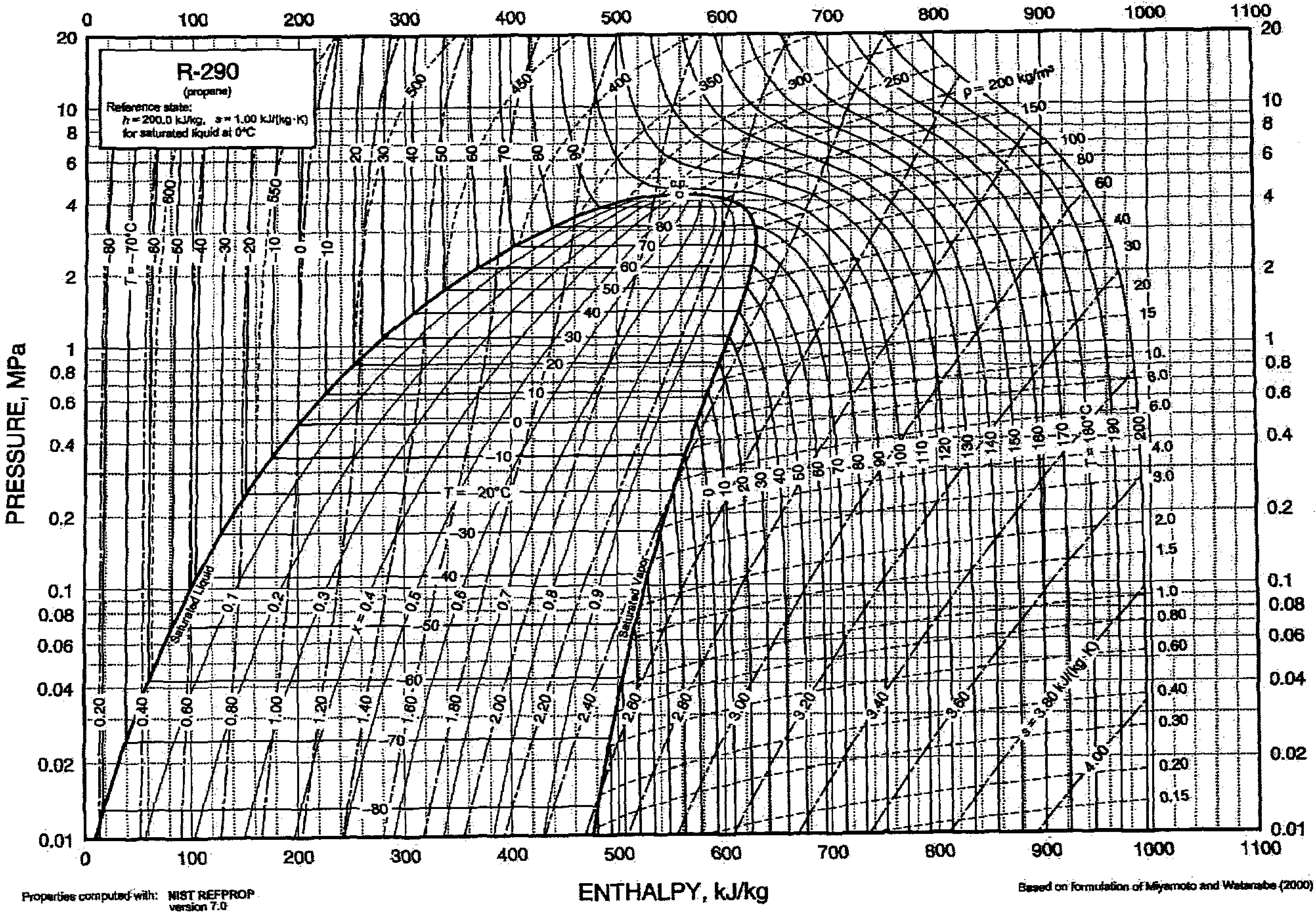
Properties computed with: NIST REFPROP version 7.0

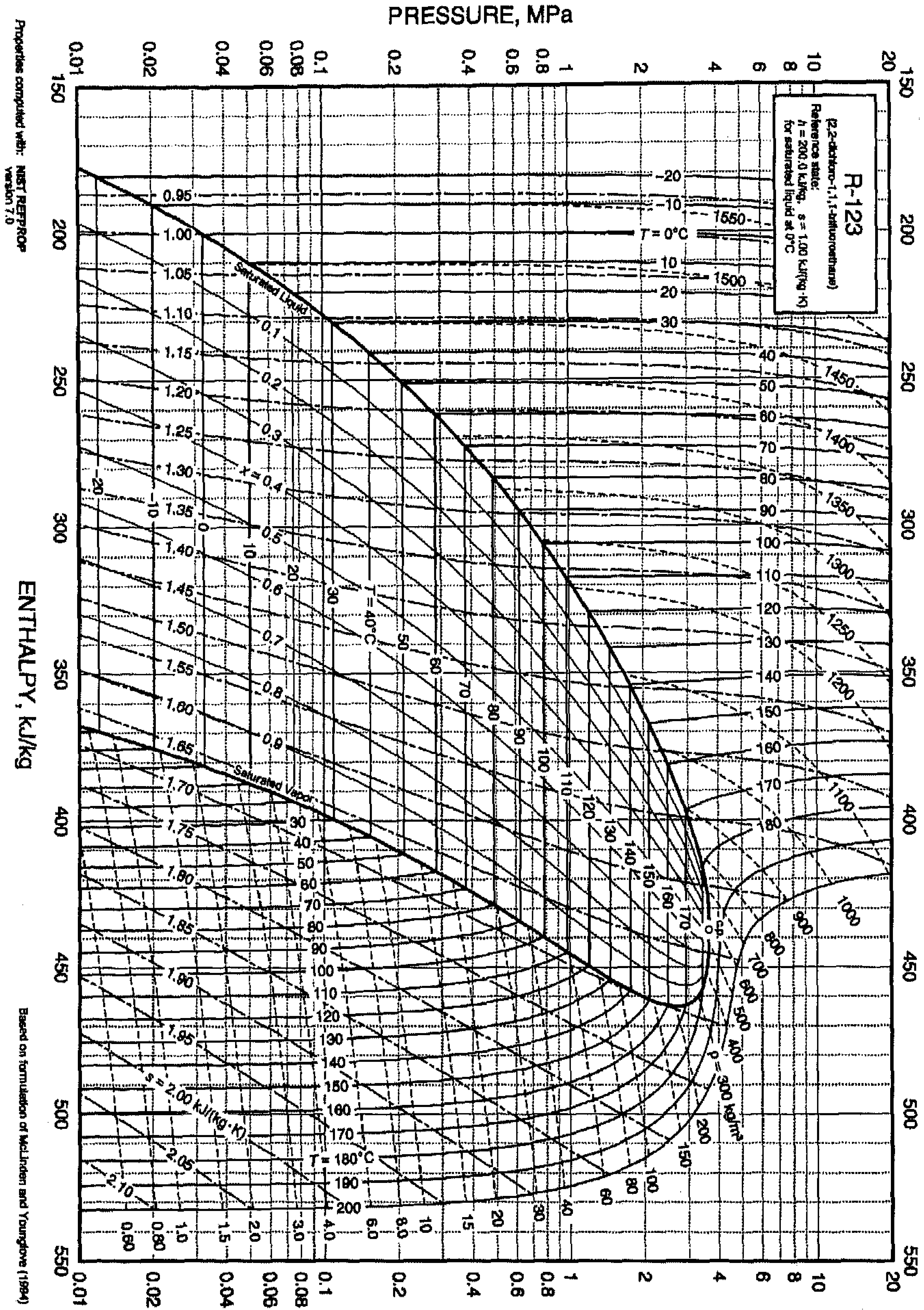


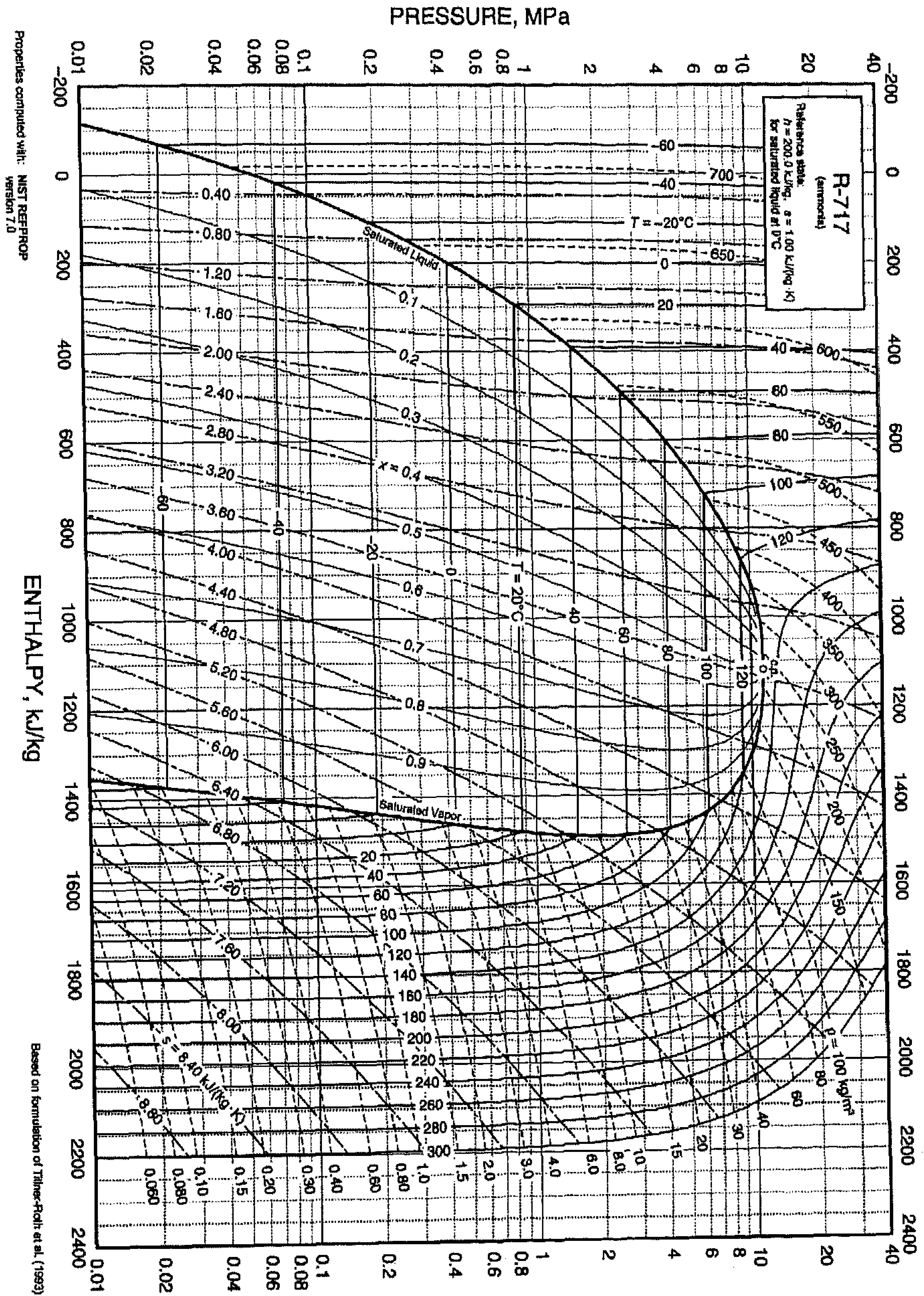

R-22
(chlorodifluoromethane)
Reference state:
h = 200.0 kJ/kg, s = 1.00 kJ/(kg·K)
for saturated liquid at 0°C
PRESSURE, MPa
ENTHALPY, kJ/kg
Saturated Liquid
Saturated Vapor
c.p.
T = -60°C
T = -20°C
T = 180°C
x = 0.4
s = 2.20 kJ/(kg·K)
ρ = 300 kg/m³
Properties computed with: NIST REFPROP version 7.0
Based on formulation of Kamei et al. (1995)


R-600a
(2-methylpropane [isobutane])
Reference state:
h = 200.0 kJ/kg, s = 1.00 kJ/(kg·K)
for saturated liquid at 0°C
PRESSURE, MPa
ENTHALPY, kJ/kg
Saturated Liquid
Saturated Vapor
s = 3.40 kJ/(kg·K)
ρ = 250 kg/m³
T = 0°C
T = 180°C
Properties computed with: NIST REFPROP version 7.0
Based on formulation of Miyamoto and Watanabe (2002)


PRESSURE, MPa
R-152a
(1,1-difluoroethane)
Reference state:
h = 200.0 kJ/kg, s = 1.00 kJ/(kg·K)
for saturated liquid at 0°C
Saturated Liquid
Saturated Vapor
T = -50°C
T = -10°C
T = 180°C
s = 3.00 kJ/(kg·K)
ρ = 300 kg/m³
ENTHALPY, kJ/kg
Properties computed with: NIST REFPROP version 7.0
Based on formulation of Outcalt and McLinden (1996)


R-290
(propane)
Reference state:
h = 200.0 kJ/kg, s = 1.00 kJ/(kg·K)
for saturated liquid at 0°C
PRESSURE, MPa
ENTHALPY, kJ/kg
Saturated Liquid
Saturated Vapor
Properties computed with: NIST REFPROP
version 7.0
Based on formulation of Miyamoto and Watanabe (2000)


PRESSURE, MPa
ENTHALPY, kJ/kg
R-123
(2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane)
Reference state:
h = 200.0 kJ/kg, s = 1.00 kJ/(kg·K)
for saturated liquid at 0°C
Saturated Liquid
Saturated Vapor
T = 0°C
T = 40°C
T = 180°C
s = 2.00 kJ/(kg·K)
ρ = 300 kg/m³
c.p.
Properties computed with: NIST REFPROP Version 7.0
Based on formulation of McLinden and Younglove (1994)


R-717
(ammonia)
Reference state:
h = 200.0 kJ/kg, s = 1.00 kJ/(kg·K)
for saturated liquid at 0°C
PRESSURE, MPa
ENTHALPY, kJ/kg
Saturated Liquid
Saturated Vapor
T = 20°C
x = 0.4
s = 6.40 kJ/(kg·K)
ρ = 100 kg/m³
c.p.
Properties computed with: NIST REFPROP version 7.0
Based on formulation of Tillner-Roth et al. (1993)

ملحق (B)

جداول التشبع لوسائط التبريد

Refrigerant: R134a

T	P	v'	v''	h'	h''	Latent (L)	s'	s''
°C	Bar	L/kg	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kgK)	kJ/(kgK)
-60	0.163	0.6787	1.0502	127.27	360.22	232.95	0.7014	1.7942
-55	0.223	0.6851	0.78511	132.8	363.38	230.58	0.727	1.7839
-50	0.299	0.6917	0.5957	138.42	366.54	228.12	0.7524	1.7747
-45	0.396	0.6985	0.4582	144.15	369.7	225.55	0.7778	1.7664
-40	0.516	0.7055	0.35692	149.97	372.85	222.88	0.803	1.7589
-35	0.665	0.7127	0.28128	155.89	375.99	220.1	0.8281	1.7523
-30	0.847	0.7202	0.22408	161.91	379.11	217.2	0.853	1.7463
-25	1.067	0.728	0.1803	168.03	382.21	214.18	0.8778	1.741
-20	1.33	0.7361	0.14641	174.24	385.28	211.04	0.9025	1.7362
-15	1.641	0.7445	0.11991	180.54	388.32	207.78	0.9271	1.732
-10	2.007	0.7533	0.09898	186.93	391.32	204.39	0.9515	1.7282
-5	2.434	0.7625	0.0823	193.42	394.28	200.86	0.9758	1.7249
0	2.928	0.7721	0.06889	200	397.2	197.2	1	1.722
5	3.496	0.7821	0.05801	206.67	400.07	193.4	1.024	1.7194
10	4.145	0.7927	0.04913	213.44	402.89	189.45	1.048	1.717
15	4.883	0.8039	0.04183	220.3	405.64	185.34	1.0718	1.715
20	5.716	0.8157	0.03577	227.23	408.33	181.09	1.0954	1.7132
25	6.653	0.8283	0.03072	234.29	410.94	176.65	1.119	1.7115

30	7.701	0.8416	0.02648	241.46	413.47	172	1.1426	1.71
35	8.868	0.856	0.0229	248.75	415.9	167.15	1.1661	1.7085
40	10.164	0.8714	0.01986	256.16	418.21	162.05	1.1896	1.7071
45	11.597	0.8882	0.01726	263.71	420.4	156.69	1.2131	1.7056
50	13.176	0.9064	0.01502	271.42	422.44	151.03	1.2367	1.7041
55	14.912	0.9265	0.01309	279.3	424.31	145.01	1.2604	1.7023
60	16.813	0.9488	0.01141	287.39	425.96	138.57	1.2843	1.7003
65	18.893	0.9739	0.00993	295.71	427.34	131.63	1.3085	1.6978
70	21.162	1.0027	0.00864	304.31	428.4	124.08	1.3331	1.6947
75	23.634	1.0363	0.00748	313.27	429.03	115.76	1.3583	1.6908
80	26.324	1.0766	0.00645	322.69	429.09	106.4	1.3844	1.6857
85	29.25	1.1271	0.0055	332.71	428.33	95.62	1.4116	1.6786
90	32.435	1.1948	0.00462	343.66	426.29	82.63	1.441	1.6685
95	35.91	1.2983	0.00375	356.3	421.83	65.53	1.4744	1.6524
100	39.742	1.5443	0.00268	374.7	409.1	34.4	1.5225	1.6147

Refrigerant: R11

T	P	v'	v''	h'	h''	Latent (L)	s'	s''
°C	Bar	L/kg	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kgK)	kJ/(kgK)
-60	0.013	0.6007	9.96205	149.08	359.07	210	0.7896	1.7748
-55	0.019	0.6045	7.02404	153.3	361.48	208.18	0.8092	1.7635
-50	0.027	0.6084	5.04692	157.53	363.91	206.38	0.8284	1.7532
-45	0.037	0.6123	3.69018	161.76	366.36	204.6	0.8471	1.7439
-40	0.051	0.6163	2.74212	165.98	368.82	202.84	0.8654	1.7354
-35	0.069	0.6205	2.06837	170.21	371.3	201.09	0.8834	1.7278
-30	0.092	0.6246	1.58199	174.45	373.8	199.35	0.901	1.7208
-25	0.122	0.6289	1.22569	178.68	376.3	197.62	0.9182	1.7146
-20	0.158	0.6333	0.96108	182.93	378.82	195.89	0.9352	1.7089
-15	0.203	0.6378	0.76206	187.18	381.34	194.15	0.9518	1.7039
-10	0.257	0.6423	0.61055	191.45	383.86	192.41	0.9681	1.6993

-5	0.323	0.647	0.49392	195.72	386.39	190.67	0.9842	1.6952
0	0.402	0.6518	0.40319	200	388.91	188.91	1	1.6916
5	0.495	0.6567	0.3319	204.29	391.44	187.14	1.0156	1.6884
10	0.606	0.6617	0.27538	208.6	393.95	185.36	1.0309	1.6855
15	0.734	0.6668	0.23016	212.92	396.47	183.55	1.046	1.683
20	0.884	0.6721	0.19369	217.24	398.97	181.73	1.0608	1.6807
25	1.056	0.6775	0.16405	221.59	401.46	179.88	1.0755	1.6788
30	1.254	0.683	0.13978	225.94	403.95	178	1.0899	1.6771
35	1.479	0.6888	0.11977	230.31	406.41	176.1	1.1042	1.6756
40	1.735	0.6947	0.10317	234.7	408.86	174.17	1.1182	1.6744
45	2.023	0.7007	0.0893	239.1	411.3	172.2	1.1321	1.6733
50	2.346	0.707	0.07765	243.51	413.71	170.19	1.1458	1.6725
55	2.708	0.7134	0.06781	247.95	416.1	168.15	1.1593	1.6718
60	3.111	0.7201	0.05946	252.4	418.47	166.07	1.1727	1.6712
65	3.558	0.727	0.05233	256.87	420.81	163.93	1.1859	1.6707
70	4.052	0.7342	0.04621	261.37	423.12	161.75	1.199	1.6704
75	4.595	0.7416	0.04095	265.89	425.4	159.51	1.212	1.6702
80	5.192	0.7493	0.03639	270.44	427.65	157.21	1.2249	1.67
85	5.845	0.7574	0.03243	275.02	429.86	154.84	1.2376	1.6699
90	6.558	0.7658	0.02897	279.64	432.04	152.4	1.2502	1.6699
95	7.334	0.7745	0.02595	284.27	434.17	149.9	1.2628	1.6699
100	8.177	0.7837	0.02329	288.96	436.26	147.3	1.2752	1.67
105	9.089	0.7933	0.02094	293.71	438.3	144.59	1.2877	1.67
110	10.076	0.8035	0.01887	298.5	440.28	141.78	1.3001	1.6701

Refergerant R-22

T	P	v'	v''	h'	h''	Latent (L)	s'	s''
°C	Bar	L/kg	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kgK)	kJ/(kgK)
-60	0.375	0.6821	0.53724	134.75	379.12	244.38	0.7324	1.8789
-55	0.495	0.6885	0.41489	139.81	381.54	241.72	0.7559	1.864

-50	0.644	0.6952	0.32461	144.94	383.93	238.99	0.7791	1.8501
-45	0.827	0.7022	0.25703	150.14	386.29	236.15	0.8021	1.8372
-40	1.049	0.7093	0.20578	155.4	388.62	233.22	0.8248	1.8251
-35	1.317	0.7168	0.16642	160.73	390.91	230.18	0.8474	1.8139
-30	1.635	0.7245	0.13586	166.13	393.15	227.02	0.8697	1.8034
-25	2.01	0.7325	0.11187	171.6	395.34	223.74	0.8918	1.7935
-20	2.448	0.7409	0.09286	177.13	397.48	220.34	0.9138	1.7842
-15	2.957	0.7496	0.07763	182.74	399.55	216.81	0.9356	1.7755
-10	3.543	0.7587	0.06535	188.42	401.56	213.14	0.9572	1.7672
-5	4.213	0.7683	0.05534	194.17	403.51	209.33	0.9787	1.7593
0	4.976	0.7783	0.04714	200	405.37	205.37	1	1.7519
5	5.838	0.7889	0.04036	205.9	407.15	201.25	1.0212	1.7447
10	6.807	0.8	0.03472	211.88	408.84	196.96	1.0422	1.7378
15	7.891	0.8118	0.02999	217.92	410.44	192.52	1.0631	1.7312
20	9.099	0.8243	0.02601	224.07	411.93	187.86	1.0839	1.7247
25	10.439	0.8376	0.02263	230.31	413.3	182.99	1.1046	1.7183
30	11.919	0.8519	0.01974	236.65	414.54	177.89	1.1253	1.7121
35	13.548	0.8673	0.01727	243.1	415.64	172.54	1.1459	1.7058
40	15.335	0.8839	0.01514	249.67	416.57	166.9	1.1666	1.6995
45	17.29	0.902	0.01329	256.38	417.32	160.93	1.1873	1.6931
50	19.423	0.9219	0.01167	263.25	417.85	154.6	1.2081	1.6865
55	21.744	0.944	0.01025	270.31	418.13	147.82	1.2291	1.6796
60	24.266	0.9687	0.009	277.58	418.1	140.52	1.2504	1.6722
65	26.999	0.997	0.00789	285.13	417.7	132.56	1.2721	1.6641
70	29.959	1.0298	0.00689	293.03	416.82	123.79	1.2944	1.6551
75	33.161	1.0691	0.00598	301.4	415.31	113.91	1.3176	1.6448
80	36.623	1.1181	0.00515	310.42	412.91	102.49	1.3422	1.6325
85	40.368	1.1832	0.00436	320.5	409.11	88.61	1.3694	1.6168
90	44.425	1.2823	0.00357	332.6	402.67	70.07	1.4015	1.5945
95	48.835	1.5206	0.00255	351.76	386.72	34.96	1.4522	1.5472

Refregerant: R-502

T	P	v'	v''	h'	h''	Latent (L)	s'	s''
°C	Bar	L/kg	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kgK)	kJ/(kgK)
-60	0.487	0.6548	0.31834	140	318.2	178.2	0.7549	1.5909
-55	0.634	0.6615	0.24915	144.35	320.73	176.38	0.775	1.5835
-50	0.814	0.6684	0.19729	148.82	323.24	174.42	0.7952	1.5768
-45	1.033	0.6756	0.15794	153.41	325.73	172.32	0.8155	1.5708
-40	1.296	0.683	0.12771	158.12	328.21	170.09	0.8358	1.5654
-35	1.61	0.6908	0.10422	162.95	330.66	167.7	0.8563	1.5604
-30	1.979	0.6989	0.08578	167.91	333.07	165.17	0.8767	1.556
-25	2.41	0.7073	0.07116	172.98	335.45	162.48	0.8973	1.552
-20	2.91	0.7161	0.05947	178.16	337.79	159.63	0.9178	1.5484
-15	3.486	0.7254	0.05003	183.46	340.09	156.63	0.9384	1.5451
-10	4.143	0.7351	0.04235	188.87	342.33	153.46	0.9589	1.5421
-5	4.889	0.7453	0.03605	194.38	344.52	150.13	0.9795	1.5394
0	5.731	0.7561	0.03084	200	346.64	146.64	1	1.5369
5	6.676	0.7676	0.02651	205.7	348.7	143	1.0204	1.5345
10	7.73	0.7798	0.02289	211.5	350.67	139.17	1.0408	1.5323
15	8.902	0.7928	0.01983	217.4	352.56	135.16	1.0611	1.5302
20	10.197	0.8068	0.01724	223.39	354.36	130.97	1.0814	1.5281
25	11.623	0.822	0.01502	229.47	356.04	126.57	1.1016	1.5261
30	13.189	0.8385	0.01312	235.63	357.61	121.97	1.1216	1.524
35	14.901	0.8566	0.01148	241.89	359.03	117.13	1.1416	1.5218
40	16.77	0.8766	0.01005	248.25	360.28	112.03	1.1616	1.5193
45	18.803	0.8991	0.0088	254.71	361.33	106.62	1.1815	1.5166
50	21.013	0.9246	0.0077	261.3	362.14	100.84	1.2014	1.5135
55	23.411	0.9543	0.00672	268.07	362.64	94.57	1.2215	1.5097
60	26.014	0.9896	0.00584	275.07	362.73	87.67	1.2419	1.505
65	28.84	1.0333	0.00504	282.41	362.26	79.85	1.2629	1.4991
70	31.918	1.0906	0.00429	290.4	360.9	70.5	1.2854	1.4909
75	35.285	1.1748	0.00355	299.62	357.95	58.33	1.311	1.4785
80	39.004	1.342	0.00271	312.75	350.61	37.87	1.3471	1.4543

Refrigerant: R-717

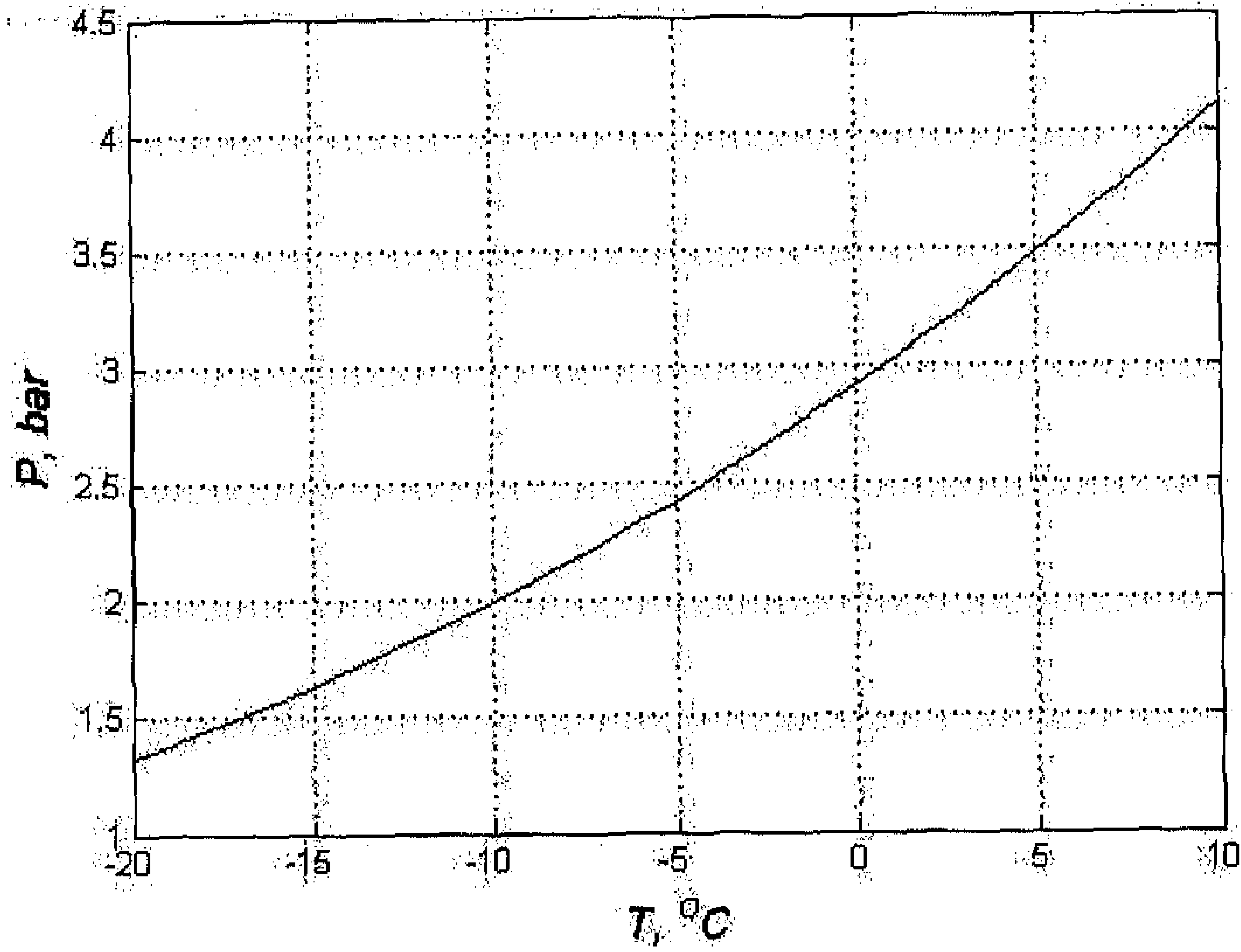
T	P	v'	v''	h'	h''	Latent (L)	s'	s''
°C	Bar	L/kg	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kgK)	kJ/(kgK)
-60	0.219	1.4006	4.70212	-67.44	1373.91	1441.35	-0.102	6.6601
-55	0.302	1.4122	3.48621	-45.65	1382.57	1428.21	-0.001	6.5459
-50	0.408	1.4242	2.62482	-23.77	1391.02	1414.79	0.0981	6.4382
-45	0.545	1.4364	2.00458	-1.8	1399.25	1401.06	0.1953	6.3363
-40	0.717	1.4491	1.55117	20.25	1407.25	1387	0.2909	6.2398
-35	0.931	1.4621	1.21501	42.4	1414.99	1372.59	0.3847	6.1483
-30	1.195	1.4755	0.96249	64.64	1422.46	1357.81	0.477	6.0613
-25	1.515	1.4893	0.77046	86.98	1429.64	1342.66	0.5677	5.9784
-20	1.901	1.5036	0.62274	109.4	1436.51	1327.11	0.657	5.8994
-15	2.362	1.5184	0.50789	131.91	1443.07	1311.15	0.7448	5.8238
-10	2.908	1.5336	0.41769	154.52	1449.29	1294.77	0.8312	5.7514
-5	3.548	1.5495	0.34618	177.21	1455.16	1277.95	0.9162	5.682
0	4.294	1.5659	0.28898	200	1460.66	1260.66	1	5.6153
5	5.158	1.583	0.24284	222.89	1465.79	1242.91	1.0825	5.551
10	6.15	1.6008	0.20533	245.87	1470.52	1224.65	1.1639	5.489
15	7.285	1.6193	0.17462	268.97	1474.85	1205.88	1.2441	5.429
20	8.574	1.6386	0.14929	292.19	1478.74	1186.55	1.3232	5.3708
25	10.031	1.6588	0.12826	315.54	1482.19	1166.65	1.4014	5.3144
30	11.669	1.68	0.11069	339.04	1485.16	1146.12	1.4787	5.2594
35	13.504	1.7023	0.09593	362.58	1487.65	1125.07	1.5547	5.2058
40	15.549	1.7257	0.08345	386.43	1489.61	1103.19	1.6303	5.1532
45	17.82	1.7505	0.07284	410.49	1491.02	1080.53	1.7053	5.1016
50	20.331	1.7767	0.06378	434.82	1491.84	1057.02	1.7798	5.0508
55	23.1	1.8046	0.056	459.45	1492.02	1032.57	1.8539	5.0006
60	26.143	1.8343	0.04929	484.43	1491.52	1007.09	1.9278	4.9508
65	29.476	1.8661	0.04348	509.83	1490.27	980.44	2.0016	4.9011
70	33.117	1.9003	0.03841	535.71	1488.2	952.49	2.0756	4.8513

75	37.084	1.9374	0.03398	562.17	1485.21	923.04	2.15	4.8012
80	41.397	1.9778	0.03009	589.32	1481.19	891.87	2.225	4.7505
85	46.076	2.0222	0.02665	617.29	1476	858.71	2.301	4.6986
90	51.141	2.0713	0.02359	646.26	1469.45	823.18	2.3785	4.6453
95	56.616	2.1265	0.02087	676.46	1461.28	784.82	2.4579	4.5897
100	62.524	2.1892	0.01842	708.18	1451.16	742.98	2.5401	4.5312
105	68.891	2.2619	0.01621	741.86	1438.6	696.74	2.6259	4.4684
110	75.748	2.3484	0.01418	778.14	1422.84	644.7	2.7171	4.3997

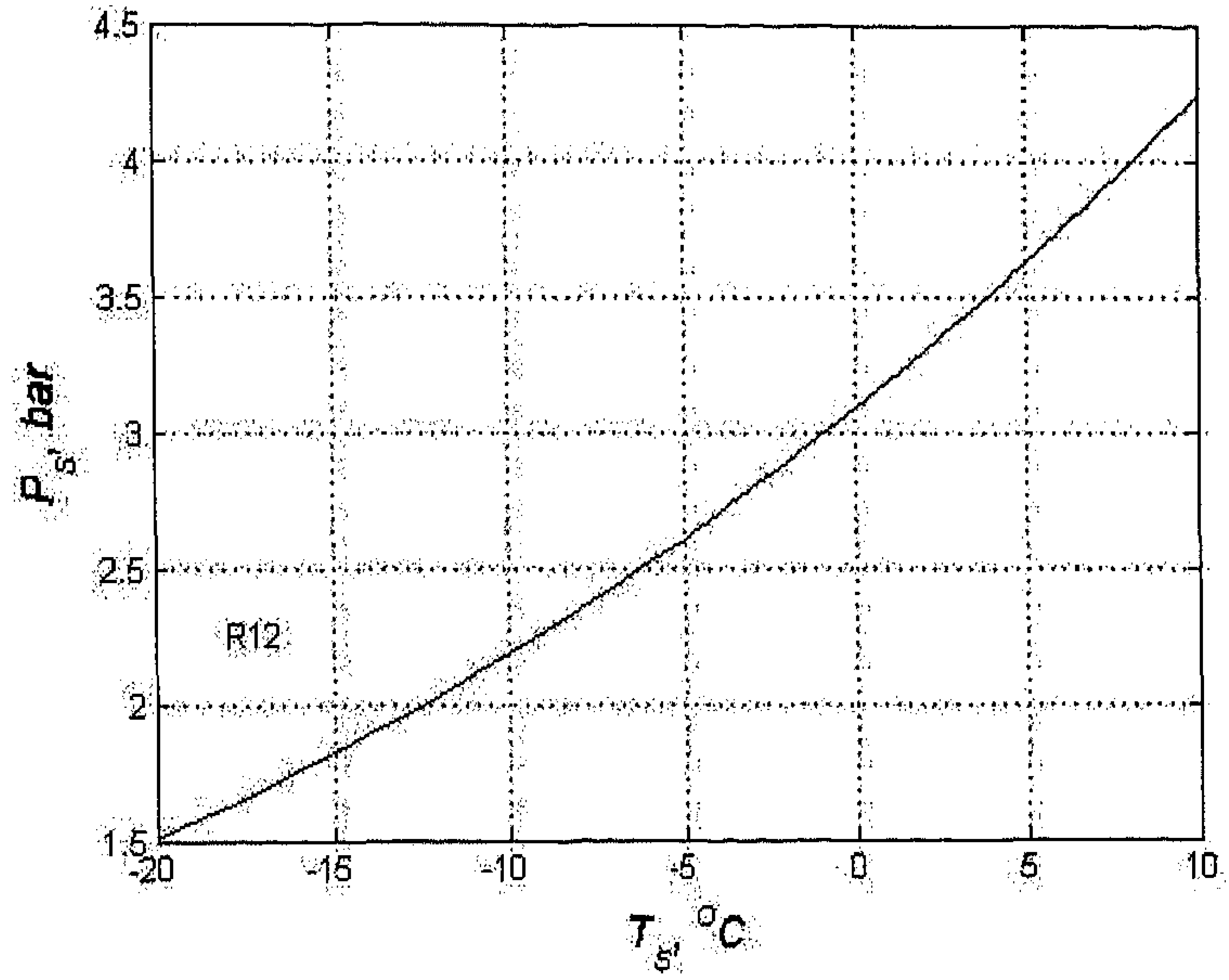
ملحق (c)

خرائط و رسومات متنوعة

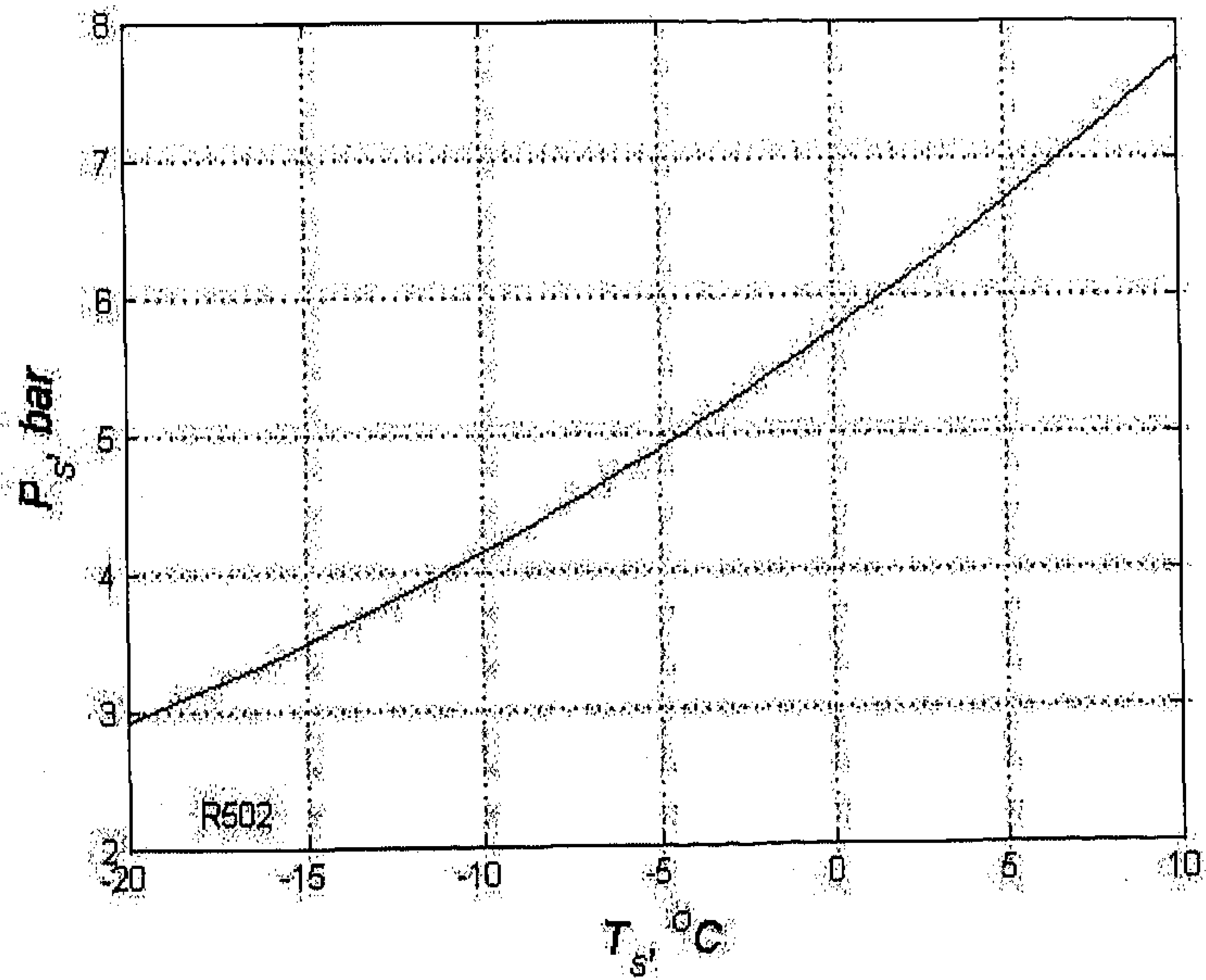
I. رسومات تبين العلاقة بين ضغط التشبع ودرجة حرارة التشبع لبعض وسائط التبريد.



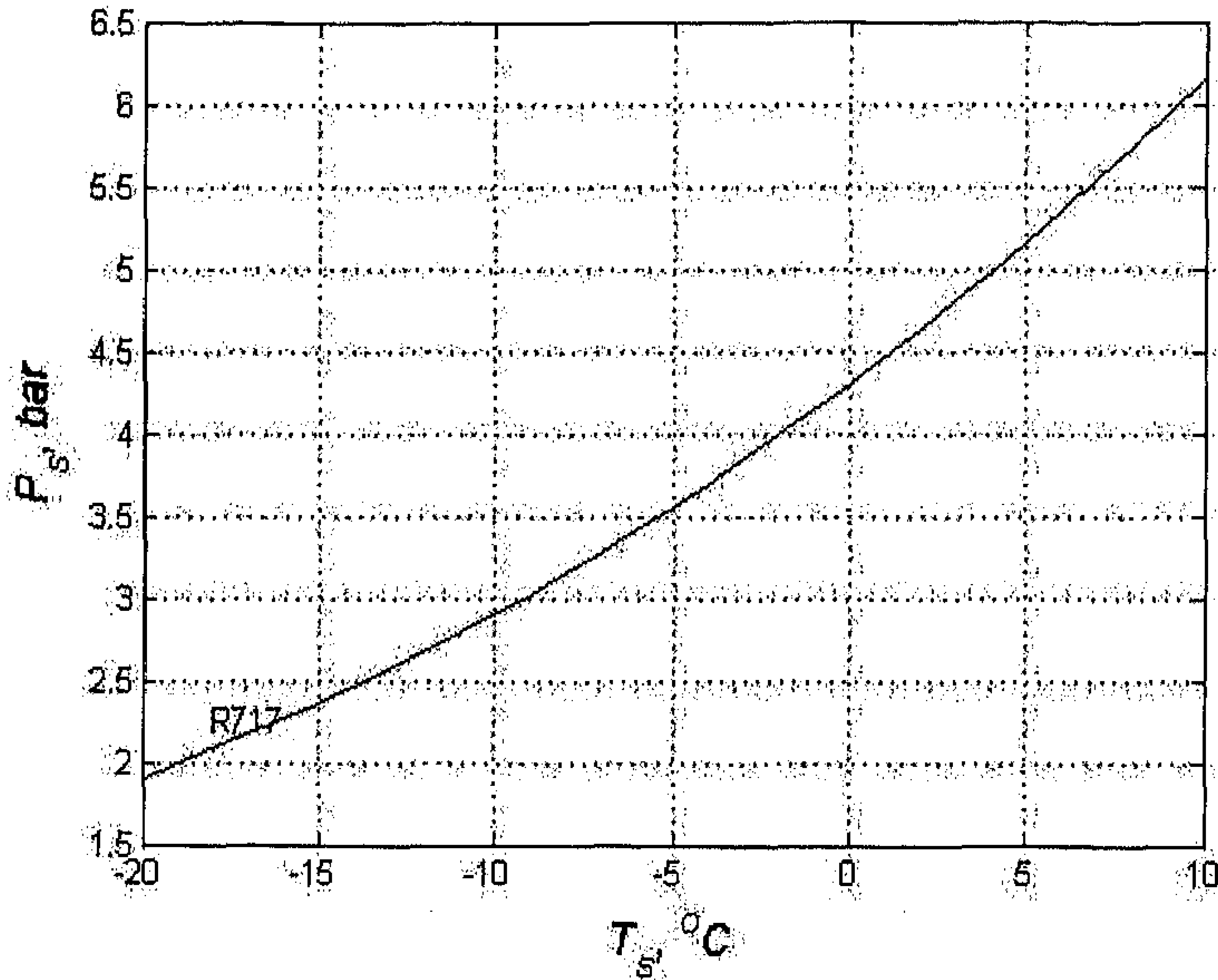
الشكل (C–١). علاقة ضغط التشبع مع درجة حرارة التشبع لوسيط تبريد R134a.



الشكل (C-٢). علاقة ضغط التشبع مع درجة حرارة التشبع لوسيط تبريد R22.

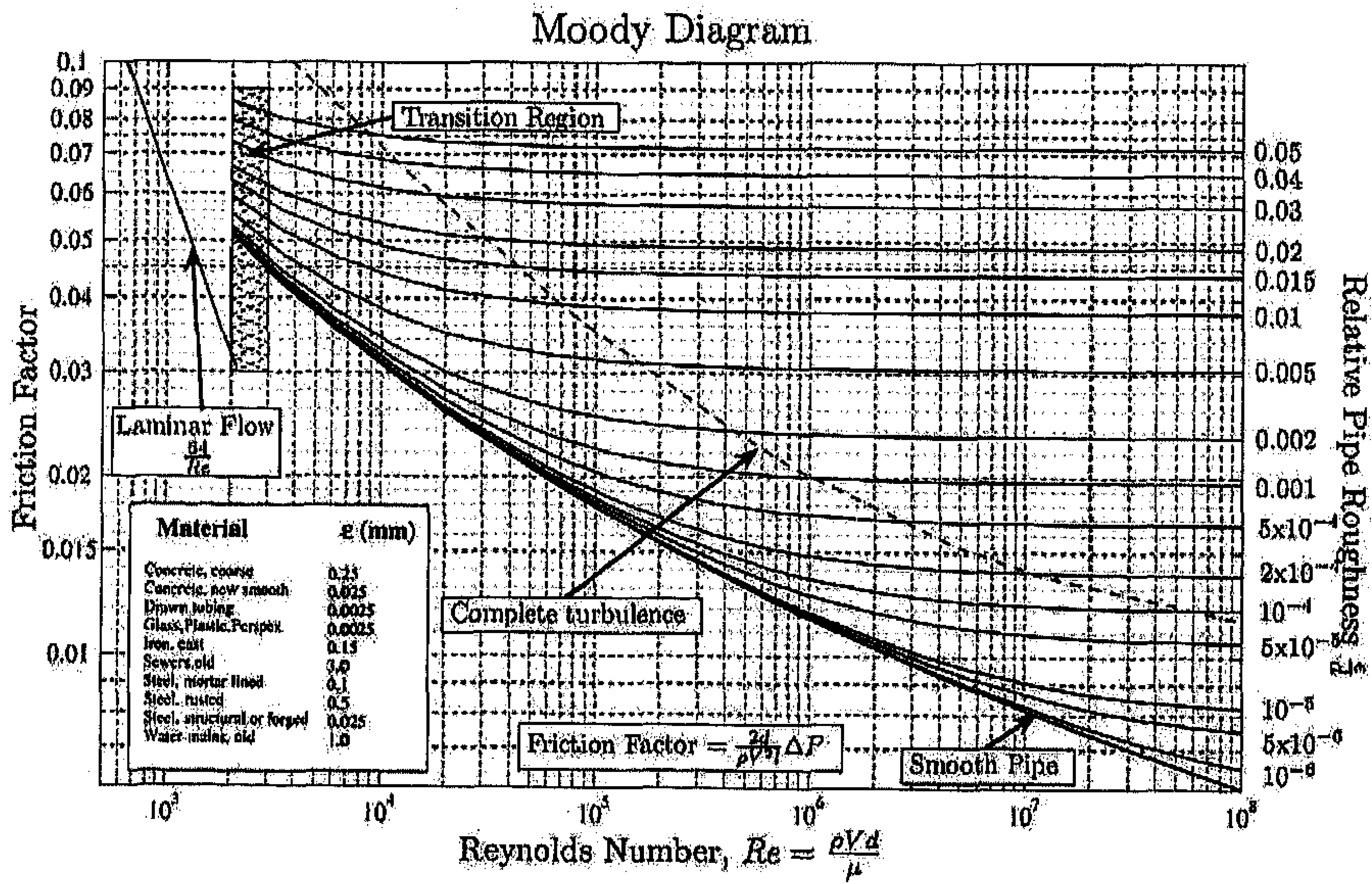


الشكل (C-٣). علاقة ضغط التشبع مع درجة حرارة التشبع لوسيط تبريد R502.



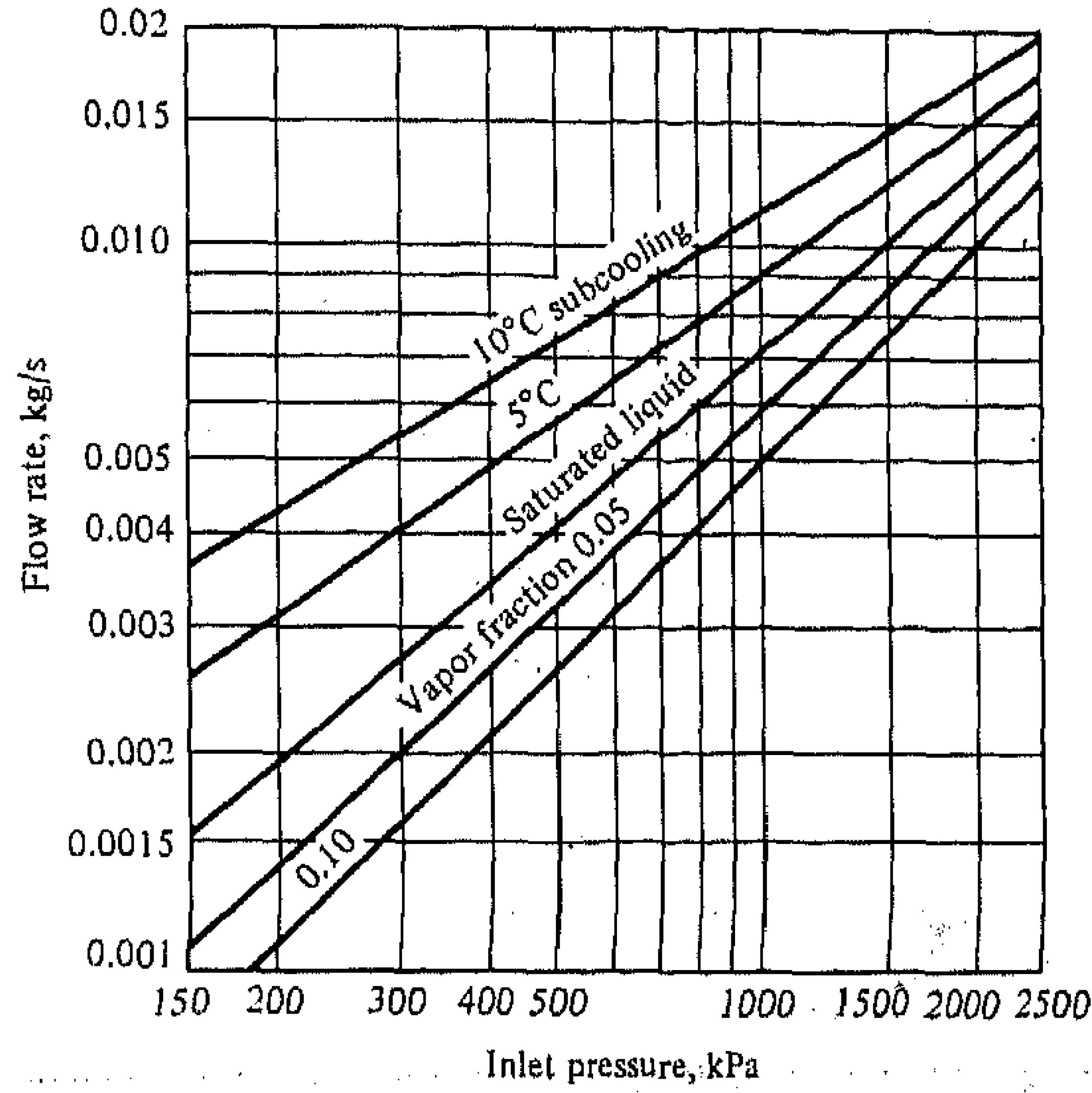
الشكل (C−٤). علاقة ضغط التشبع مع درجة حرارة التشبع لوسيط تبريد R717.

II. خريطة مودي

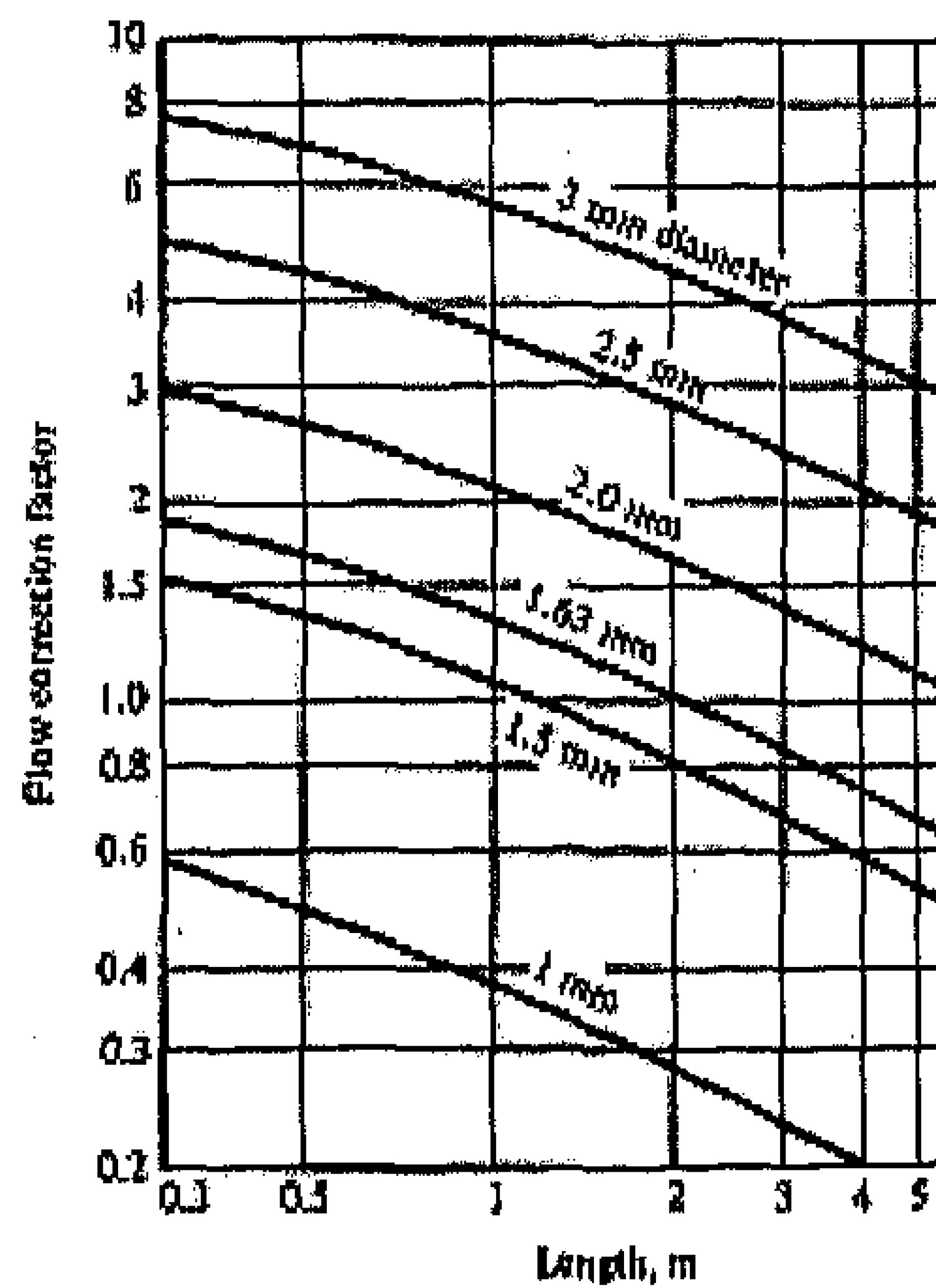


الشكل (C−٥). خريطة مودي.

III. اختيار الأنبوبة الشعرية



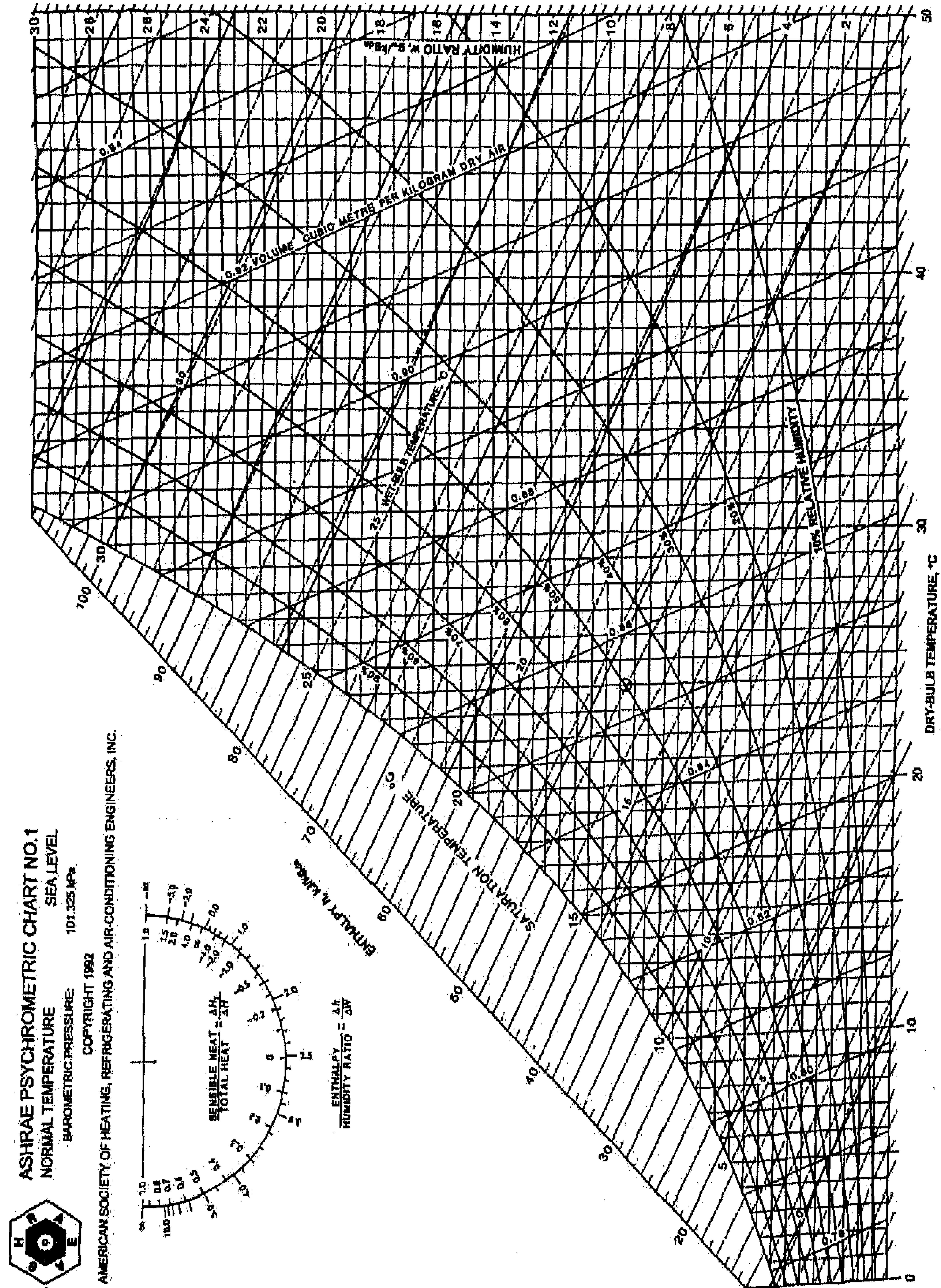
(a) تغيرمعدل السريان مع الضغط عن مدخل الأنبوبة الشعرية لأنبوبة طولها 2.03 m وقطرها 1.63 mm.



(b) معامل التصحيح (ψ) كدالة في القطر الداخلي والطول للأنبوبة شعرية.

الشكل (6-C). اختيار الأنبوبة الشعرية عن طريق الرسومات البيانية (ref. 11).

IV. الخريطة السيكرومترية



الشكل (C–7). الخريطة السيكرومترية (ref. 2).

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي – إنجليزي

أ

أُحادي المنطقة	single-zone
احتكاك	friction
الازاحة	offset
الأنبوب الرئيسي الواحد	one pipe Main
اوفرلود	overload
إزالة الرطوبة	dehumidification
إعادة تسخين	reheat
إمرار جانبي للغاز	hot gas bypass
أنبوب بوردن	bourdon tube
أنبوبة شعرية	capillary tube
أنواع الحاكمات	controllers types

ب

بصلية	bulb
بصيلة حاسة	sensing bulb

ت

تأثير تبريدي	referngeration effect
تبريد دوني	subcooling
تحكم الجهد العالي	high-voltage control
تحكم الجهد المنخفض	low-voltage control
تحكم خطي	linear control
تحكم متساوي النسبة	equal-percentage control
تحكم بالسعة التبريدية	refrigeration capacity control
تحكم بدرجة الحرارة	temperature control
تحكم بضغط المكثف المنخفض	low condenser pressure control
تحكم بضغط التكثيف	condensing pressure control
تحكم بواسطة الانثالبي	enthalpy control
تحكم تلقائي	automatic control
تحكم دليلي	pilot-ports control
تحكم في سعة المبخر	evaporator capacity control
تحكم في سعة الضاغط	compressor capacity control
تحكم في مسار وسيط التبريد	refrigerant direction control

superheating	تحميص
thermal lag	تخلف حراري
excessive humidification	ترطيب مفرط
foaming	ترغي
volatile	تطاير
evaporator starving	تعطيش المبخر
controller differential	تفاوت الحاكم
arcing	تقوس كهربائي
cycling	توقف متكرر للضاغط

ث

dual duct	ثنائي مجاري الهواء

ج

silica gel	جل السيلكا

ح

sensor	حاس
controller	حاكم
modulating controller	حاكم تناسبي
humidistat	حاكم الرطوبة
thermostat	حاكم درجة الحرارة

two-position controller	حاكم ذو موضعين
balance state	حالة الاتزان
constant air volume	حجم هواء ثابت
variable air volume	حجم هواء متغير
latent heat	حرارة كامنة
sensitivity of the controller	حساسية الحاكم
motor overload protection	حماية محرك الضاغط من التحميل العالي
thermal load	حمل حراري

خ

slide damper	خانق منزلق
shutter damper	خانق هواء غلق
butterfly damper	خانق هواء فراشة
liquid receiver	خزان السائل
dampers	خوانق
face dampers	خوانق وجهية

د

temperature	درجة حرارة الجو المحيط المنخفضة

ذ

ذراع	armature

ر

رافعة	lever
رشاش	spray
رطوبة	humidity
ريش متضادة	opposed-blades
ريش متوازية	parallel-blades

ز

زنبرك ضبط	adjusting spring
زنبرك غير قابل للضبط	unadjusting spring

س

سخان إشعاعي	radiant heater
سخان إذابة الصقيع	defrost heater
سخان مغمور	immersion heater

ش

شحنة سائلة مخالفة	cross-full-bulb charge
شحنة محددة	limited-bulb charge

شحنة البصيلة	bulb charge
شحنة البصيلة المحددة المخالفة	cross-limited-bulb charge
شحنة البصيلة السائلة	full-bulb charge
شريط ثنائي المعدن	bimetal strip

ص

صمام ارضي	globe valve
صمام التحكم بالتحميص	superheat-controlled valve
صمام التمدد الاتوماتيكي	automatic expansion valve
صمام التمدد الثيرموستاتي	thermostatic expansion
صمام التمدد الكهربائي الحراري	solid stat- controlled expansion valve
صمام ثلاثي	three-way valve
صمام ثنائي	two-way valve
صمام زاوية	angle valve
صمام عاكس	reversing valve
صمام بوابة	gate valve
صمام تحويل	diverting valve
صمام حرف Y	Y-valve
صمام خط السائل الكهرومغناطيسي	liquid solnoid valve
صمام خلط	mixing valve
صمام سدادة	plug valve
صمام عوامة من النوع المتصل	continuous float valve

intermittent float valve	صمام عوامة من النوع المتقطع
butterfly valve	صمام فراشة
ball valve	صمام كروي
water-regulating valve	صمام منظم الماء
valve	صمام
proportional control valves	صمام التحكم التناسبي
two-position valves	صمام التحكم ذو الموضعين

ض

reciprocating compressor	ضاغط ترددية
centrifugal compressor	ضاغط الطرد المركزي
pump-down	ضخ تحتي
static pressure	ضغط استاتيكي
evaporating pressure	ضغط التبخير
saturation pressure	ضغط التشبع
maximum operating pressure	ضغط التشغيل الاقصى
condensing pressure	ضغط التكثيف

ط

thermal bucking	طاقة مهدرة
evaporator flooding	طفح المبخر

ع

عملية	process

غ

غشاء	diaphragm

ف

فاصل الزيت	oil separator
فاصل الضغط العالي	high pressure cut-out
فوهة	orifice

ق

قاطع الضغط العالي	high pressure cut-out
قاطع الضغط المنخفض	low pressure cut-out

ك

كونتاكتر الضاغط	compressor contactor

ل

لوحة البينات	name plate

م

splitter	مُجزيء
surge drum	مِركن إندفاع
dry-expansion evaporator	مبخر جاف
Flooded Evaporator	مبخر مغمور
compact evaporators	مبخرات صغيرة
multiblades	متعدد الريش
multiple-zones	متعدد المناطق
controlled variable	متغير محكوم
triple-duct	مجرى الهواء ثلاثي
filter-drier	مجفف مرشح
accumulator	مجمع البخار
high-side float valve	محبس عوامة الضغط العالي
low-side float valve	محبس عوامة الضغط المنخفض
comperssor motor	محرك الضاغط
high starting torque motor	محرك ذو عزم بدأ عالي
evaporator fan motor	محرك مروحة المبخر
condenser fan motor	محرك مروحة المكثف
throttling range	مدى الخنق
reversing relay	مرحل عاكس
atomizer	مرذاذ

steam humidifier	مرطب البخار
effective evaporator surface area	مساحة السطح الفعالة للمبخر
adjusting screw	مسمار ضبط
differential screw	مسمار فرقي
energy source	مصدر للطاقة
strainer	مصفاة
external equalizer	معادل خارجي
coefficient of performance	معامل الاداء
correction factor	معامل التصحيح
oil differential pressure switch	مفتاح ضغط الزيت الفرقي
cold anticipator	مقدّر التبريد
heat anticipator	مقدّر التسخين
components of control	مكونات التحكم
reheat coil	ملف إعادة التسخين
bypass	ممر جانبي
evaporator pressure regulator	منظم ضغط المبخر
crankcase pressure regulator	منظم ضغط المرفق
bellows	منفاخ
distributor	موزع
timer	مؤقت زمني

ن

نظام الثلاثي الأنابيب	three pipe system
نظام الرباعي الأنابيب	four pipe system
نظام توزيع الماء	water distribution system
نقاط التلامس	contact points
نقطة التحكم	control point
نقطة الضبط	set point

هـ

هبوط في الضغط	pressuee drop
هواء أساسي	primary air
هواء الخارجي	outdoor air
هواء الراجع	return air
هواء ثانوي	secondary air

و

وحدة الطرفية الحثية	induction terminal unit
وسائل التحكم	control devices
وسائل التمدد	expansion devices
وسائل الحماية	safety devices
وسيلة التحكم	control medium

وصلات	fitting

ثانياً: إنجليزي – عربي

A

accumulator	مجمع البخار
adjusting screw	مسمار ضبط
adjusting spring	زنبرك ضبط
angle valve	صمام زاوية
arcing	تقوس كهربائي
armature	ذراع
atomizer	مرذاذ
automatic control	تحكم تلقائي
automatic expansion valve	صمام التمدد الاتوماتيكي

B

balance state	حالة الاتزان
ball valve	صمام كروي
bellows	منفاخ
bimetal strip	شريط ثنائي المعدن
bourdon tube	أنبوب بوردن
bulb	بصلية
bulb charge	شحنة البصيلة

butterfly damper	خانق هواء فراشة
butterfly valve	صمام فراشة
bypass	ممر جانبي

C

capillary tube	أنبوبة شعرية
centrifugal compressors	ضواغط الطرد المركزي
coefficient of performance	معامل الأداء
cold anticipator	مقدّر التبريد
compact evaporators	مبخرات صغيرة
comperssor motor	محرك الضاغط
components of control	مكونات التحكم
compressor capacity control	التحكم في سعة الضاغط
condenser fan motor	محرك مروحة المكثف
condensing pressure	ضغط التكثيف
condensing pressure control	تحكم بضغط التكثيف
constant air volume	حجم هواء ثابت
contact points	نقاط التلامس
contactor compressor	كونتاكتر الضاغط
continuous float valve	صمام عوامة من النوع المتصل
control devices	وسائل التحكم
control medium	وسيلة التحكم

control point	نقطة التحكم
controlled variable	متغير محكوم
controller	حاكم
controller differential	تفاوت الحاكم
controllers types	أنواع الحاكمات
correction factor	معامل التصحيح
crankcase pressure regulator	منظم ضغط المرفق
cross-full-bulb charge	شحنة السائلة المخالفة
cross-limited-bulb charge	شحنة البصيلة المحددة المخالفة
cycling	توقف متكرر للضاغط

D

dampers	خوانق
defrost heater	سخان إذابة الصقيع
dehumidification	إزالة الرطوبة
diaphragm	غشاء
differential screw	مسمار فرقي
distributor	موزع
diverting valve	صمام تحويل
dry-expansion evaporator	مبخر جاف
dual duct	ثنائي مجارى الهواء

E

effective evaporator surface area	مساحة السطح الفعالة للمبخر
energy source	مصدر الطاقة
enthalpy control	تحكم بواسطة الانثالبي
equal-percentage control	تحكم المتساوي النسبة
evaporating pressure	ضغط التبخير
evaporator capacity control	تحكم في سعة المبخر
evaporator fan motor	محرك مروحة المبخر
evaporator flooding	طفح المبخر
evaporator pressure regulator	منظم ضغط المبخر
evaporator starving	تعطيش المبخر
excessive humidification	الترطيب المفرط
expansion devices	وسائل التمدد
external equalizer	معادل خارجي

F

face dampers	خوانق وجهية
filter-drier	مجفف مرشح
fitting	وصلات
Flooded Evaporator	مبخر مغمور
foaming	ترغّي

four pipe system	نظام رباعي الأنابيب
friction	احتكاك
full-bulb charge	شحنة البصيلة السائلة

G

gate valve	صمام بوابة
globe valve	صمام ارضي

H

heat anticipator	مقدّر التسخين
high pressure cut-out	قاطع الضغط العالي
high starting torque motor	محرك ذو عزم بدأ عالي
high-side float valve	محبس عوامة الضغط العالي
high-voltage control	تحكم الجهد العالي
hot gas bypass	إمرار جانبي للغاز
humidistat	حاكم الرطوبة
humidity	رطوبة

I

immersion heater	سخان مغمور
induction terminal unit	وحدة طرفية حثية
intermittent float valve	صمام عوامة من النوع المتقطع

L

latent heat	حرارة كامنة
lever	رافعة
limited-bulb charge	الشحنة المحددة
linear control	تحكم خطي
liquid receiver	خزان سائل
liquid solnoid valve	صمام خط السائل الكهرومغناطيسي
low condenser pressure control	تحكم بضغط المكثف المنخفض
low pressure cut-out	قاطع الضغط المنخفض
low-ambient	درجة حرارة الجو المحيط المنخفضة
low-side float valve	محبس عوامة الضغط المنخفض
low-voltage control	تحكم الجهد المنخفض

M

maximum operating pressur	ضغط التشغيل الاقصى
mixing valve	صمام خلط
modulating controller	حاكم تناسبي
motor overload protection	حماية محرك الضاغط من التحميل العالي
multiblades	متعدد الريش
multiple-zones	متعدد المناطق

N

name plate	لوحة البينات

O

offset	الازاحة
oil differential pressure switch	مفتاح ضغط الزيت الفرقي
oil separator	فاصل الزيت
one pipe Main	الأنبوب الرئيسي الواحد
opposed-blades	ريش متضادة
orifice	فوهة
outdoor air	هواء خارجي
overload	اوفرلود

P

parallel-blades	ريش متوازية
pilot-ports control	تحكم دليلي
plug valve	صمام سدادة
pressuee drop	هبوط في الضغط
primary air	هواء أساسي
process	عملية
proportional control valve	صمام التحكم التناسبي
pump-down	ضخ تحتي

R

radiant heater	سخان إشعاعي
reciprocating compressors	ضواغط ترددية
referngeration effect	التأثير التبريدي
refrigerant charge	كمية الشحنة
refrigerant direction control	تحكم في مسار وسيط التبريد
refrigeration capacity control	تحكم بالسعة التبريدية
reheat	إعادة تسخين
reheat coil	ملف إعادة التسخين
return air	هواء راجع
reversing relay	مرحل عاكس
reversing valve	صمام عاكس

S

safety devices	وسائل الحماية
saturation pressure	ضغط التشبع
secondary air	هواء ثانوي
sensing bulb	بصيلة حاسة
sensitivity of the controller	حساسية الحاكم
sensor	حاس
set point	نقطة الضبط

shutter damper	خانق هواء غلق
silica gel	جل السيلكا
single-zone	أُحادي المنطقة
slide damper	خانق منزلق
solid state- controlled expansion valve	صمام التمدد الكهربائي الحراري
splitter	مُجزيء
spray	رشاش
static pressure	الضغط الاستاتيكي
steam humidifier	مرطب بخار
strainer	مصفاة
subcooling	تبريد دوني
superheat-controlled valve	صمام التحكم بالتحميص
superheating	تحميص
surge drum	ميركن إندفاع

T

temperature control	تحكم بدرجة الحرارة
thermal bucking	طاقة مهدرة
thermal lag	التخلف الحراري
thermal load	حمل حراري
thermostat	حاكم درجة الحرارة
thermostatic expansion	صمام التمدد الثيرموستاتي

three pipe system	نظام الثلاثي الأنابيب
three-way valve	صمام الثلاثي
throttling range	مدى الخنق
timer	مؤقت زمني
triple-duct	مجارى الهواء ثلاثي
two-position controller	حاكم ذو موضعين
two-position valves	صمامات التحكم ذو الموضعين
two-way valve	صمام ثنائي

U

unadjusting spring	زنبرك غير قابل للضبط

V

valves	صمامات
variable air volume	حجم هواء متغير
volatile	تطاير

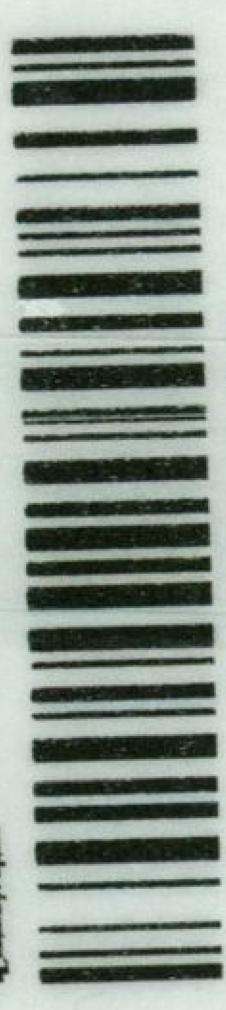
W

water distribution system	نظام توزيع الماء
water-regulating valve	صمام منظم الماء

Y

Y-valve	صمام حرف Y

كشاف الموضوعات



ردمك: ٣-٤٥-١٨٠١٨-٨٠٣-٦٠٣-٩٧٨